

BÁNYÁSZATI ÉS KOHÁSZATI LAPOK

Kohászat

MISKOLCI EGYETEM FORR-ÁSZ PROJEKT
TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0019

Anyagtudomány

Felsőoktatás

Hírmondó

148. évfolyam

2015/3. szám



Jó szerencsét!

Az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület lapja.

Alapította Péch Antal 1868-ban.

TARTALOM

- 1 **Gácsi Z. – Batta B.:** Környezetbiztonságos forrasztóanyagok anyagtudományi alapon történő fejlesztése primer- és másodnyersanyagokból a járműipar számára
- 2 **Benke M. – Sályi Zs.:** Szelektív forrasztószerszámok tönkremeneteli mechanizmusa
- 4 **Simon A. – Géber R. – Lipusz D. – Gácsi Z.:** Rézmátrixú kompozitok jellemzése, kísérleti előállítás
- 9 **Gyökér Z. – Terjék A. – Gyenes A. – Gácsi Z.:** Az ezüst és a réz hatása az Sn-Ag-Cu forrasztóanyagok szövetszerkezetére és mechanikai tulajdonságaira
- 14 **Téglás N. – Gyenes A. – Nagy E. – Gácsi Z.:** Többalkotós Sn-Ag-Cu alapú ólommentes forrasztóanyagok vizsgálata
- 18 **Baumli P.:** A keményforrasztás alapanyagai
- 22 **Kékesi T.:** Ólommentes forrasztási ónhulladék teljes feldolgozása rugalmas és környezetbarát módszerrel
- 29 **Lassú G. – Török T.:** Kísérleti lehetőségek egy újszerű analitikai módszerrel a tűzzománc-acél mennyiségi mélységprofil-elemzésére, és az eljárás elvi alapjai
- 33 **Rontó V. – Tranta F. – Svéda M. – Roósz A.:** Hozzáadott cink hatása az Sn-Bi forrasztóötvözet szerkezetére és kristályosodási tulajdonságaira
- 38 **Szabó G. – Mertinger V. – Zupkó I. – Mikó T. – Roósz A.:** Meleghengerléssel plattírozott többrétegű alumíniumlemezek technológiai vizsgálata
- 41 **A 2015/3. szám szerzőinek szakmai életrajza**

Anyagtudomány

- 43 **Mekler Cs. – Baranyai V. – Dezső A. – Trampus P. – Kresz N. – Kaptay Gy.:** A szemcsehatár-energia, a szemcsehatárszegregáció és a szemcsehatár-átalakulás modellezése többkomponensű ötvözetekben

Felsőoktatás

- 50 **Beszélgetés prof. dr. Kékesi Tamással**
- 52 **Beszámoló a XXXII. Országos Tudományos Diákköri Konferenciáról**

Hírmondó

- 56 **100 éve született Óvári Antal.** Tisztesség és tisztelet
- 57 **120 éve született az ajkai timföldgyár és alumíniumkohó építője**
- 58 **Egyesületi hírek**
- 60 **MÖSZ-hír**
- 65 **Köszöntések**
- 66 **Nekrológok**

Öntészet rovatunkat az 1950-ben indított és 1991-ben megszűnt önálló szaklap, a BKL Öntőde utódjának tekintjük.

FROM THE CONTENT

Benke M. – Sályi Zs.: Degradation mechanism of selective soldering tools ... 2
The soldering tool is in direct contact with the molten solder alloy. The soldering tools are typically made from ferrous alloys, or high purity Armco iron. Today's solder alloys are tin-based alloys which are highly reactive and solve the iron atoms from the soldering tools. This process leads to the erosion degradation of the soldering tools, which requires the halt of the soldering line and the replacement of the soldering tool. The erosion process can be inhibited through the composition modification of the solder melt. However, for most cases, the composition of the solder melt is strictly regulated, leading to the need for the development of soldering tools with enhanced lifetime against erosion.

Simon A. – Géber R. – Lipusz D. – Gácsi Z.: Characterization and experimental producing of copper matrix composites ... 4
The improvement of properties of conventional materials is possible with the use of another coupling materials. The application of these kind of composite material systems can be observed in many areas of industry (e.g. manufacturing of electronic parts). In this article the Authors review the main properties of metal matrix composites, as well as manufacturing methods, main properties and applications of copper matrix composites. During their research work copper matrix composites reinforced with SiC particles were produced and some results of their investigations were presented.

Gyökér Z. – Terjék A. – Gyenes A. – Gácsi Zoltán: Effects of silver and copper on the microstructure and mechanical properties of Sn-Ag-Cu solders ... 9
After the switch to lead-free solders Sn-Ag-Cu (SAC) alloys have been proved to be the most sufficient solders among the current alternative ones in the terms of replacing lead-containing solders. One of the most common SAC solders is the SAC305 alloy which contains 3 wt% Ag and 0.5 wt% Cu. This paper investigates the effects of Ag and Cu on the microstructure and the mechanical properties of Sn-Ag-Cu lead-free solders via alloys with five different compositions. Light and scanning electron microscopy with microprobe analysis were used to describe the effects of the alloying elements on the microstructure. Further-more tensile tests and hardness measurements were applied to determine the mechanical properties (UTS, YS, HV and elongation).

Téglás N. – Gyenes A. – Nagy E. – Gácsi Z.: Investigation of multicomponent Sn-Ag-Cu based lead free solders ... 14
According to the directives adopted by the European Union, lead has been banned from the manufacturing processes because of its health and environmental hazards. Therefore the development of lead-free solder has started up. This paper investigates multicomponent Sn-Ag-Cu based lead-free solders with different compositions. The properties of the Innotol and two low-Ag solders were compared with the widespread SAC305 in the industrial practise. Microstructure investigation and X-ray diffraction measurements were performed to identify the formed phases, furthermore tensile tests and hardness measurements were executed to determine the mechanical properties.

Baumli P.: Base materials of brazing ... 18
Brazing is a joining process (above 450 °C) in which two or more items are joined together by melting a filler metal. The filler metals have lower melting point than the brazed parts. Irresolvable bonding between metal and metal, ceramic and ceramic or ceramic and metal can be made by brazing. The quality of joining largely depends on the correct composition of the filler material. Most widely used types of filler metals are copper and its alloys, nickel and its alloys, as well as pure silver and silver-based alloys furthermore aluminium, magnesium, zinc or titanium-based filler can be applied. The results of research on brazing and joining are summarised in this review.

Kékesi T.: Complex processing of lead-free soldering waste by a flexible and environment friendly method ... 22
The significant amount of the waste material arising from the application of the most common SAC-type lead-free soldering tin alloys, containing Ag and Cu, can be processed practically free of any emission by a multi-step method based on an aqueous electrorefining step. The first step is the melting of the heterogeneous waste material skimmed from the soldering bath, which serves the melt to be cast into cooled molds to form the anodes. The oxide dross here separated can be subjected to a carbothermic reduction to yield finely dispersed tin, soluble in hot hydrochloric acid. This may be used for the preparation of the electrolyte solution. The properly controlled refining electrolysis can produce high purity tin at the cathode, while silver and copper is concentrated in the slime layer arising at the surface of the anode. The Sn, Cu and Ag content of the slime can be dissolved selectively by consecutive leaching steps using hot hydrochloric and nitric acid solutions. Pure tin can be extracted from the chloride solution after removing copper by cementation, followed by silver chloride precipitation from the nitrate solution. This method, developed at the laboratory scale can be operated economically on a low capacity as well, as no sophisticated equipment needs to be invested and no expensive materials or considerable electric energy are required. The negligible amount of the technological residue is practically tin dioxide, which can be recycled to the melting step.

Lassú G. – Török T.: Application possibilities and the principle of a novel analytical technique for compositional depth profile measurement of the steel-enamel interface ... 29
In this paper we publish the principle of elemental /quantitative depth profile analysis of the steel-enamel interface and the methodological development which leads to this possibility. In our previous paper [1] we showed how powerful the analytical technique GD-OES is for analyzing the entire enamel coating and the interface region (which is very important from the aspects of bonding). In that article we presented only qualitative depth profiles, because we were unable to commence the full calibration procedure due to lacking the proper reference standard samples. By now and in collaboration with the TOBIZO Co. eventually we could prepare some quasi-standards and we can use them for quantitative calibration. The quantified depth profiles then will supply extra information compared to the qualitative ones, i.e. not only the trends but the exact compositional conditions can be determined in the whole depth of such coatings as well.

Continued on page 64.

• **Szerkesztőség:** 1051 Budapest, Október 6. utca 7., III. em. • **Telefon:** 06-1-201-7337 •

• **E-mail:** bkl.kohaszat@gmail.com •

• **Felelős szerkesztő:** Balázs Tamás •

• **A szerkesztőség tagjai:** dr. Buzáné dr. Dénes Margit, dr. Klug Ottó, dr. Kórodi István, Lengyelne Kiss Katalin, Schudich Anna, Szabados Ottó, Szende György, dr. Tardy Pál, dr. Török Tamás •

• **Kiadó:** Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület • **Felelős kiadó:** dr. Nagy Lajos •

• **Nyomja:** Press+Print Kft. 2340 Kiskunlacháza, Gábor Áron u. 2/a • **HU ISSN 0005-5670 •**

Belső tájékoztatásra, kereskedelmi forgalomba nem kerül. • A közölt cikkek fordítása, utánnnyomása, sokszorosítása és adatrendszerekben való tárolása kizárólag a kiadó engedélyével történhet. •

Internetcím: www.ombkenet.hu/bkl/kohaszat.html

Környezetbiztonságos forraszanyagok anyagtudományi alapon történő fejlesztése primer- és másodnyersanyagokból a járműipar számára



Gácsi Zoltán
a projekt szakmai vezetője



Batta Beatrix
projektmenedzser



A FORR-ÁSZ elnevezésű célzott alap-kutatási program (TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0019) 2013 januárjában indult. A Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Karának oktatói, kutatói, hallgatói a Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Non-profit Kft. munkatársaival, valamint a Magyar Tudományos Akadémia Atommag Kutató Intézet kutatóival (ATOMKI) együttműködve 2015 júliusáig dolgoztak a megvalósításon.

A projekt keretében a kutatók olyan forrasztóanyagok fejlesztésében és újrahasznosítási technológiájának kidolgozásában vettek részt, amely az eddig alkalmazott, rendkívül jó tulajdonságokkal rendelkező ólomtartalmú forrasztóanyagot helyettesíteni tudja: ugyanakkor az átállás sem gazdasági, sem technológiai hátrányt nem okoz.

A szakmai tevékenység öt, nemzetközileg elismert vezető kutató (Kaptay György, Kékesi Tamás, Roósz András, Török Tamás, Gácsi Zoltán) által koordinált – az adott tématerületre specializálódott és egymást kiegészítő – Tudományos Műhely keretében folyt.

A projekt keretei között megvalósult legfontosabb fejlesztések és az iparvállalatokkal elindult jelentősebb együttműködések a következők:

1) Eredményes volt a lágy- és a keményforrasztók, valamint az alkalmazott szubsztrátok által alkotott rendszerekben a tömbi és határfelületi termodinamikai tulajdonságok modellezése. Ehhez nagyban hozzájárult a projekt keretein belül megvásárolt Thermo-Calc szoftver (Thermodynamic and phase diagram calculations for multicomponent systems) és a hozzá tartozó adatbázis. A biner és ternér fázisdiagramokon kívül ún. kvázibiner rendszerek számítása is megvalósult, amely a többkomponensű forrasztóanyag és a szubsztrát közötti kölcsönhatásról – oldódásról ad a technológia számára hasznos információt.

2) A korábbiakban kidolgozott

ESTPHAD-eljárás (Estimation of Phase Diagrams) segítségével megvalósult a kétalkotós egyensúlyi fázisdiagramok számítása: lehetővé téve a likvidusz- és szolidusz-hőmérsékletek egyszerű módszerrel történő meghatározását.

3) Valóra vált az ólommentes (Sn-Cu, Sn-Ag-Cu és Sn-Bi-Zn alapú) forrasztóanyagok kísérleti előállítás és szövetszerkezetének, tulajdonságainak szisztematikus vizsgálata. Ipari tisztaságú (SnCu1, SnCu3, SnAg3 és SnNi10) ötvözeteket vizsgáltak a Metalloglobus Fémöntőde és Kereskedelmi Kft.-vel együttműködve. Több ipari partnerrel (GLOB-METAL Öntészeti és Kereskedelmi Kft., Eurocircuits Kft., Feszotrade Kft., Infineon Technologies Bipoláris Kft.) kezdődtek el a szakmai tapasztalatcserek. A Robert Bosch Kft.-vel a forrasztási technológia megbízhatóságával és a kötések élettartamával foglalkozó jelentős közös kutatómunka indult.

4) A gépkocsi számára készülő víz- és olajhűtők előállításánál alkalmazott brazing alapanyag és a hagyományos gyártástechnológia fejlesztése az Alcoa Kőfém és a Güntner Tata Hűtőtechnika partnerekkel együttműködve történt. A kifejlesztett és működő új technológiával kapcsolatban szabaddal bejelentés született.

5) A nagyteljesítményű elektronikai, de az egyre kisebb méretű mikroelektronikai alkatrészek öntvözetekkel történő forrasztásánál előírt szigorú felülettisztasági előírásoknak megfelelő fejlesztés egy plazmasugaras (Plasmatreat AS400) laboratóriumi felületkezelő berendezés beszerzése, installálása és rendszerbe állítása segítségével történt.

6) Az ólommentes forrasztóanyagok elektronikai iparban történő alkalmazásakor keletkező veszélyes, de nagy értéket is képviselő hulladékok (felzék, illetve használhatatlan olvadék) feldolgozási módszereinek fejlesztése eredményesen megvalósult. A Pedinfo Kft.

segítségével létrejött a folyamatos elektródtömeg-változást mérő digitális rendszer. A felületi szintű kísérletek megvalósításába bevont ipari partnerrel (Prometech Kft.) létrejött egy jelentős fejlesztési szerződés. Ennek révén a partner cég már folyamatosan működő referenciaüzemet alakított ki, ahol kísérleti célokra átvett, nagyobb mennyiségű forrasztási hulladék feldolgozása zajlik. A témában több szabadalmi bejelentés született.

7) Sikeresen megvalósult a porlasztáson alapuló másodlagos semleges részecske tömeg-spektrometriai vizsgálati módszer alkalmazhatóságának kiterjesztése: ipari, nagy felületi durvasággal jellemezhető minták összetevői mélységi eloszlásainak a meghatározására. A porlasztási folyamat modellezésére kifejlesztett adatkiértékelési módszer az irodalomban szokásos paramétereken túl figyelembe veszi a porlasztási folyamat során kialakuló kráter alakját, a felületi durvaságot és a porlasztási folyamat alatti felületi topográfia és összetétel-változást is.

A Metallurgiai és Öntészeti Intézet a projekt finanszírozásával, közbeszerzés keretében beszerezte a laboratóriumi plazmasugaras felülettisztító berendezést, a Fémteni, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet pedig egy EBSD-detektort (Electron backscatter diffraction – visszaszórt elektron-diffrakció) a ZEISS EVO MA-10 típusú pásztázó elektronmikroszkópjához. A Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft.-nél a Thermo-Calc szoftverrel valósult meg a modellezés.

Az elért szakmai eredményekre alapozva számos rangos folyóiratcikk, több szabadalom és négy nemzetközi kutatási és fejlesztési pályázat született. A legérdekesebb szakmai eredményeket a Tudományos Műhelyek munkatársai által írt cikkekben mutatjuk be.

Szelektív forrasztószerszámok tönkremeneteli mechanizmusa

A szelektív forrasztás során a forrasztószerszám közvetlen kapcsolatba kerül az olvadt forrasztótvözzettel. A forrasztószerszámok jellemzően vasalapú ötvözetekből vagy nagy tisztaságú Armco-vasból (az előállító American Rolling Mill Company nevéől) készülnek. A napjainkban alkalmazott forrasztótvözetek önalapú ötvözetek, melyek olvadt állapotban erősen reaktívak, és kioldják a vasatomokat a forrasztószerszámokból. A folyamat a szerszám eróziós tönkremeneteléhez vezet, ami a forrasztósor leállítását és a szerszám cseréjét követeli meg. Az eróziós folyamat lassítható a forrasztóolvadék összetételének megváltoztatásával. A legtöbb esetben azonban a forrasztótvözet összetételét szigorú előírások szabályozzák, ami erózióval szemben növelt ellenálló képességű forrasztószerszám fejlesztését teszi szükségessé.

A szelektív forrasztás típusai

Szelektív forrasztás során a forraszkötést az alkatrészen belül egyedi helyen (helyeken) hozzák létre. A szelektív forrasztás egyes típusai automatizálhatók, így gyártási sorba integrálhatók. Más típusa kézi eljárás, melyet javító forrasztáskor alkalmaznak. A szelektív forrasztást sorozatgyártás során olyan esetekben alkalmazzák, amikor az aktuális kötésnek a többi forraszkötéstől eltérő technológiával kell készülnie (eltérő forrasztási hőmérséklet, forrasztandó geometria, alkatrész-beszerelés stb.). A szelektív forrasztás típusai az alábbiak:

- Szelektív hullámforrasztás
- Szelektív bélyegforrasztás
- Szelektív kézi forrasztás

Szelektív hullámforrasztás során a forrasztóolvadék egy fúvókán áramlik ki, majd csorog le a fúvóka oldalán. A fúvóka felületén így egy forraszhullám alakul ki. A fúvóka geometriájától függően a forraszhullám lehet pontszerű vagy vonalszerű. A fúvókát védőgázköpeny védi az oxidáció ellen. A fúvókát és a védőgázköpenyt biztosító egységet számítógéppel vezérelt X-Y irányú mozgásra képes egység pozicionálja a forrasztandó helyre. A forrasztás során a forrasztószerszám megemelkedik úgy, hogy a forraszhullámról a forrasztóolvadék fel tudjon futni a forrasztandó helyre. Megfelelő mennyiségű forrasztótvözet feljuttatá-

sa után a szerszám lesüllyed, és a következő forrasztandó helyre pozícionál. A forraszhullám magasságának stabilnak kell lennie a forrasztási hibák elkerülése végett, amit a fúvóka és a forrasztóolvadék közötti jó nedvesítés biztosít.

Szelektív bélyegforrasztás során a forrasztóolvadékot az olvadékot tartalmazó kádából kiemelkedő csapok juttatják a forrasztandó helyekre. A megfelelő kötés létrehozásához az olvadéknak megfelelően kell nedvesítenie a csapot. Szelektív hullám- és bélyegforrasztással csak furatszerelt forraszkötések (THT Through Hole Technology) hozhatók létre.

Szelektív kézi forrasztás során a forrasztóanyagot a kézi forrasztószerszám (páka) olvasztja meg. A forrasztáshoz szükséges olvadék felfut a páka hegyére, majd a forrasztóanyagot a páka hegyéről visszük fel a forrasztandó helyre. A forrasztóanyag felviteléhez elengedhetetlen a páka és a forrasztóolvadék közötti jó nedvesítés. Szelektív kézi forrasztással furatszerelt (THT), valamint felületszerelt (SMT Surface Mount Technology) technológiával készült kötések is létrehozhatók. A szelektív kézi forrasztást kis termelékenységű, jellemzően egyedi kötése-

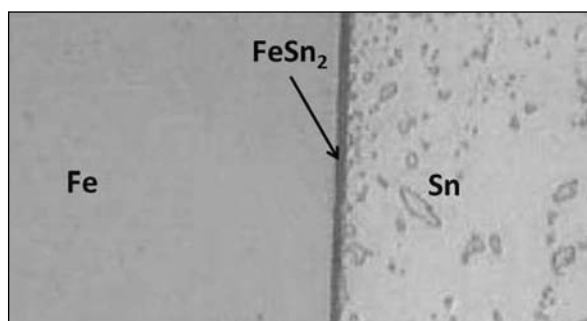
sek létrehozásához, továbbá javító forrasztásokhoz alkalmazzák [1].

A különböző típusú szelektív forrasztási eljárásokban alkalmazott szerszámok tönkremenetelének nagyon hasonló a mechanizmusa, ugyanis mindhárom technológiában a tönkremenetelt ugyanarra a határfelületi reakcióra lehet visszavezetni. Éppen ezért egy gazdaságilag is reális, a forrasztószerszám élettartamát növelő megoldás mindhárom technológia esetében alkalmazható lehetne.

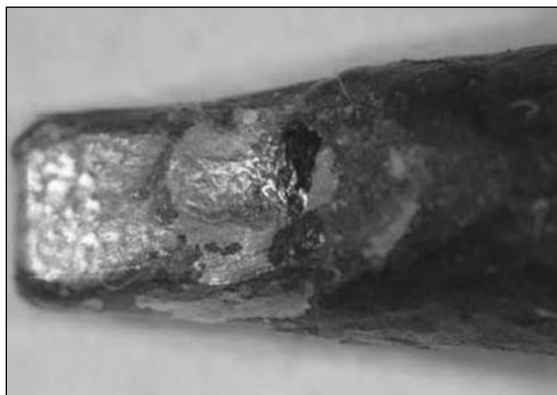
A szelektív kézi forrasztószerszámok eróziója

Kézi szelektív forrasztás esetében a forrasztópáka réteges szerkezetű. A páka magja rézből készül. A rézmag kiváló hővezetése eredményezi, hogy a páka hegye hamar eléri a forrasztóanyag megolvasztásához szükséges hőmérsékletet. A páka külső rétege vas, aminek a hegyére előőnozott réteget visznek föl, a páka többi részét pedig krómmal vonják be. A forrasztóolvadék nem nedvesíti a krómot, (sem a króm-oxidot, amely a használat során keletkezik a krómmal bevont részen), viszont jól nedvesíti az önbevonatot, a forrasztóanyag olvadás után így csak a páka hegyére fut fel. Mivel forrasztóolvadék csak a páka hegyén van forrasztáskor, a kötés kialakítása kontrollálható. Az előőnozás során a páka vasbevonata és az önréteg közti határfelületen FeSn_2 intermetallikus vegyület képződik (1. ábra).

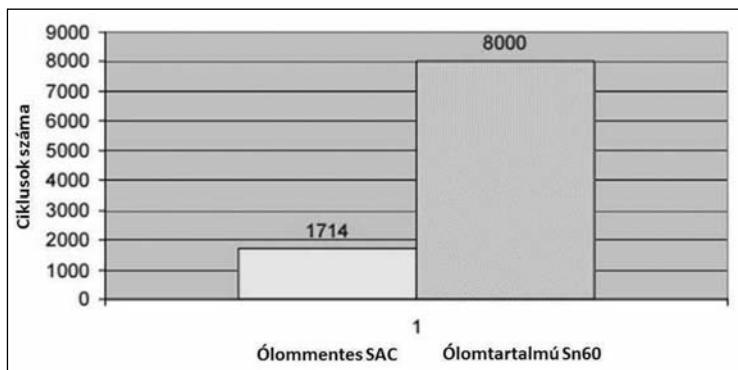
A forrasztási ciklusszám növelésé-



■ 1. ábra. A vas-ón határfelületen képződött FeSn_2 intermetallikus réteg [1]



■ 2. ábra. Erodált kézi forrasztószerszám [1]



■ 3. ábra. Szelektív forrasztószerszám élettartama ólommentes SAC és Pb-Sn forrasztótvözetben [1]

vel az FeSn_2 intermetallikus réteg vastagsága növekszik, amihez a szükséges vasatomokat a szerszám anyaga adja. Az intermetallikus réteg növekedését ebben a fázisban a vasatomok diffúziója irányítja. Az intermetallikus réteg vastagodása a vasbevonat erózióját okozza, ami a páka lassú tönkremenetelét idézi elő. Az erodált páka felülete egyenetlen, bemarkásokot tartalmaz. A bemarkásoknál a forrasztótvözet az FeSn_2 intermetallikus réteg alatti vas alapanyaggal találkozik. A vas és a forrasztóanyag találkozásánál szintén kialakul az FeSn_2 intermetallikus vegyület, ami a páka erózióját felgyorsítja. Amennyiben a bemarkásnál a forrasztótvözet eléri a páka rézmagját, az eróziós folyamat erőteljesen felgyorsul a rézatomok intenzív kioldásával. Erodált forrasztópáka képét mutatja a 2. ábra. Az erodált páka elveszíti a forrasztáshoz szükséges nedvesítést, így alkalmatlanná válik további használatra [1, 2].

A szelektív hullám- és belyegforrasztó szerszámok eróziója

A szelektív hullám- és belyegforrasztó szerszámokkal szemben szintén követelmény, hogy a szerszámot megfelelően nedvesítse a forrasztolvadék. A megfelelő nedvesítés érdekében a szelektív hullámforrasztó és a szelektív belyegforrasztó szerszámokat vasból vagy nagy tisztaságú Armco-vasból készítik. Szelektív hullám- és belyegforrasztás esetében a szerszám közvetlenül érintkezik az olvadt forrasztótvözetrel. Az olvadt forrasztótvözet kioldja a szerszám anyagából a vasatomokat, ami a forrasztószerszám erózióját okozza. A szelektív

kézi forrasztással szemben itt az olvadék folyamatosan áramlik a forrasztószerszám felületén. Szelektív hullám- és belyegforrasztás esetében az eróziós reakciót elősegíti a forrasztolvadék folyamatos áramlása is. Az áramlás erőteljesebb a szelektív hullámforrasztás esetében [3].

Forrasztószerszámok eróziója ólommentes forrasztóanyagokban

Az Európai Unió (és egyéb, EU-n kívüli államok) által bevezetett RoHS (Restriction of use of Hazardous Substances) direktíva – néhány kivételles alkalmazástól eltekintve – tiltja az ólomtartalmú forrasztótvözetek alkalmazását. Az Sn-Pb ötvözetek alternatíváiként legelterjedtebben az Sn-Cu, SAC (Sn-Ag-Cu) és Innot (Sn-Ag-Cu-Bi-Sb-Ni) környezetbiztonságos ötvözetcsaládokat alkalmaznak. Mindhárom ötvözetcsalád jóval nagyobb mennyiségben tartalmaz ónt, mint a korábbi, Sn-Pb tartalmú ötvözetek. Az óntartalom az Sn-Cu ötvözeteknél ~ 99 m/m%, a SAC ötvözeteknél jellemzően ~ 95 m/m%, az Innot ötvözeteknél pedig ~ 90 m/m%, míg a korábbi, Sn-Pb ötvözetekben az óntartalom 63 m/m% körüli. A növelt óntartalom miatt a környezetbiztonságos forrasztótvözetek sokkal reaktívabban oldják ki a vasatomokat a velük érintkező szerszámokból. A környezetbiztonságos forrasztótvözetek ráadásul nagyobb olvadáspontúak, mint az Sn-Pb ötvözetek. Az Sn-Cu, a SAC és Innot ötvözetek olvadáspontja 220°C körüli, az Sn-Pb ötvözetek olvadáspontja pedig 180°C körüli. A nagyobb hőmérséklet szintén hozzájárul a vasatomok kioldásának gyorsításához. Ezen tényezők miatt

az ólommentes forrasztótvözetek alkalmazásával a szelektív forrasztószerszámok eróziójának üteme jelentős mértékben felgyorsult. A 3. ábra szelektív forrasztószerszám forrasztási ciklusszámát mutatja Sn-Pb és ólommentes SAC forrasztótvözet alkalmazása esetén. Az ábrán látható, hogy az ólommentes SAC ötvözet alkalmazásával a forrasztószerszám élettartama 8000 forrasztási ciklusról 1714 ciklusra esett, vagyis mintegy harmadára csökkent [1, 4–12].

Szelektív forrasztószerszám élettartam-növelésének lehetőségei

A szelektív forrasztószerszámok eróziója az erodált szerszámok cseréjét teszi szükségessé. Szelektív hullám- és belyegforrasztási technológiákban a forrasztószerszám eróziója által okozott gazdasági kár jelentős részét azonban nem a forrasztószerszám pótlása okozza, hanem a szerszámcsere és kalibráció miatti leállás és a termelés kiesése. A forrasztószerszám eróziójának csökkentésére két irányban indultak el kutatások. Az egyik irány a forrasztótvözet összetétele megváltoztatásának a lehetőségét vizsgálja. Nishikawa és munkatársai kimutatták, hogy vassal bevont réz szubsztrát eróziójának mértéke Sn-Ag forrasztótvözetben csökkenthető Co hozzáadásával [11]. A legtöbb esetben azonban a forrasztótvözet összetételét szigorú előírások által megadott határértékek között kell tartani, ezért az összetétel módosítása nem engedélyezhető. Az erózióval szembeni ellenálló képesség növelésének másik lehetséges módja a forrasztószerszám anyagának megváltoztatása. A növelt élettartamú szelek-

tív forrasztószerszámnak azonban két olyan követelménynek kell egyidejűleg megfelelnie, amelyeket jellemzően eltérő anyagtipusok teljesítenek. A forrasztószerszám és a szerszám közötti megfelelő nedvesítést a fémes jellegű kötési szerszámanyag tudja biztosítani. Az erózióval szembeni ellenállást pedig olyan anyag tudja biztosítani, melynek atomjait a forrasztószerszám nem tudja könnyen kioldani. Watanabe és munkatársai vas-többfalú karbon nanocső kompozit (Fe-MWCNT Multi Wall Carbon Nanotube) forrasztószerszám eróziójának mértékét vizsgálták ólommentes forrasztóanyagban. Kimutatták, hogy az erózió mértéke lecsökkent, bár a nedvesítés mértéke némileg romlott a vas forrasztószerszámmal képest [12]. Tekintettel arra, hogy Watanabe és társai megoldása nem szüntette meg a forrasztószerszám erózióját, csak lelassította a folyamatot, ráadásul a vas-karbon nanocső kompozit alkalmazása a szelektív forrasztásban meglehetősen költséges lenne, ez a megoldás nem tűnik hatékonynak. Gazdaságos és hatékony megoldás a szelektív forrasztószerszámok élettartamának növelésére jelenleg még nem ismeretes.

Összefoglalás

A vasból készült szelektív forrasztó-

szerszámok tönkremenetelét alapvetően a szerszám/forrasztószerszám határfelületi reakciója okozza. A tönkremenetel során az erősen reaktív, nagy óntartalmú forrasztószerszám kioldja a vasatomokat a szerszám anyagából, ami a szerszám erózióját okozza. Az erózió elleni védekezés egyik lehetséges módja a forrasztószerszám összetételének módosítása, a másik megoldás a szelektív forrasztószerszám anyagának fejlesztése. Jelenleg nem ismert gazdaságos, hatékony megoldás a forrasztószerszámok élettartamának növelésére.

Köszönetnyilvánítás

A cikkben ismertetett kutatómunka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 projekt eredményeire alapozva a TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0019 jelű projekt részeként – az Új Széchenyi Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalom

- [1] http://www.elexp.com/Images/Weller_Coping_with_Lead_Free.pdf (2014)
- [2] H. Nishikawa, T. Takemoto, K. Kifune, T. Uetani, N. Sekimori: Effect of iron plating conditions on reaction in molten lead-free solder, *Mat Trans* 45 (3) (2004) 741–746.
- [3] H. Nishikawa, S. Kang, T. Takemoto:

Erosion behavior and interfacial reaction of stainless steels in molten lead-free solder, *Transactions of JWRI* 38 (2) (2009) 53–56.

- [4] D. Shangguan: Lead-free solder interconnect reliability, *ASM International*, 2005. 33–48.
- [5] G. Henshall, J. Bath, C. A. Handwerker: Lead-free solder process development, *Wiley*, 2011.
- [6] H. Ipser: European COST action 531: Basic research on lead-free soldering, *JMM* 43 B (2) (2007) 109–112.
- [7] A. Kroupa, A. T. Dinsdale, A. Watson, J. Vrestal, A. Zemanova: COST 531 project – Study of the advanced materials for lead free soldering, *JMM* 43 B (2) (2007) 113–123.
- [8] A. Kroupa, A. Dinsdale, A. Watson, J. J. Vrestal, A. Zemanova, P. Broz: The thermodynamic database COST mp0602 for materials for high-temperature lead-free soldering, *JMM* B 48 (3) (2012) 339–346.
- [9] T. Takemoto, T. Uetani, M. Yamazaki: Dissolution rates of iron plating on soldering iron tips in molten lead-free solders, *Solder Surf MT Tech* 16 (3) (2004) 9–15.
- [10] <http://www.circuitspecialists.com/blog/soldering-tip-care-tips> (2014)
- [11] H. Nishikawa, A. Komatsu, T. Takemoto: Interfacial reaction between Sn-Ag-Co solder and metals, *Mat Trans* 46 (2005) 2394–2399.
- [12] J. Watanabe, N. Sekimori, K. Hatsuzaawa, T. Uetani, I. Shohji: Study on erosion resistance characteristics of Fe-MWCNT composite plating with respect to lead-free solder, *J Phys, Conf. series* 379 (2012) 012025. 1–10.

SIMON ANDREA – GÉBER RÓBERT – LIPUSZ DÓRA – GÁCSI ZOLTÁN

Rézmátrixú kompozitok jellemzése, kísérleti előállítása

A hagyományos anyagok tulajdonságjavításának egyik lehetséges módszere a társított anyagok felhasználása. Az így létrehozott kompozit anyagrendszerek alkalmazása az ipar számos területén (pl. elektronikai alkatrészek gyártása) megfigyelhető. A szerzők cikkükben ismertetik a fémkompozitok legfontosabb tulajdonságait, valamint bemutatják a rézmátrixú kompozitok előállításának módjait, legfontosabb tulajdonságait és felhasználási lehetőségeit. Kutatómunkájuk során rézmátrixú, SiC szemcseerősítésű kompozitokat állítottak elő, amelyek vizsgálatának néhány eredményét is közreadják.

A fémkompozitok általános jellemzése

A kompozitok napjaink legkorszerűbb anyagai közé tartoznak. Az egyre különlegesebb, összetettebb követelményeket a hagyományos (monolit) anyagok már nem képesek teljesíteni, ezért a műszaki gyakorlatban mind gyakoribb ezeknek a társított anyagoknak az alkalmazása. A kompozitok tulajdonságait az alapanyag (mátrix) és a második (erősítő) fázis mennyisége, típusa, a közöttük kialakult határfelület jellemzői, valamint a

második fázis morfológiája együttesen határozzák meg [1]. A kerámia (karbid, oxid) szemcsékkel, szálakkal erősített fémkompozitok (Metal Matrix Composites, MMC) széles határok között változtatható rugalmassági modulusuk, szilárdságuk, kopásállóságuk, hőállóságuk, hőtágulási együtthatójuk és hővezető képességük miatt népszerűek [2].

A második fázis mennyisége szintén széles határok között változhat, néhány %-tól akár 70%-ot is elérhet. A legelterjedtebb szálal erősítőanyagok a bór, az alumínium-oxid, a szilícium-karbid és a karbon. A szálerősítésű kompozitokkal kedvezőbb tulajdonságok érhetőek el, mint a szemcsés erősítés esetén, azonban az anyag anizotróp jellege miatt csak a szálerősítés irányában érhetőek el a kiemelkedő tulajdonságok. A nem folyamatos második fázist adagolhatják whisker (tűs egykristály), szemcse vagy rövid szál formájában. Anyagát tekintve ekkor a második fázis SiC, Al₂O₃, B₄C, TiB₂, BN, TiC, WC, esetleg grafén vagy gyémánt lehet. A legkedvezőbb tulajdonságok az 1. táblázatban bemutatott erősítőanyagokkal érhetőek el.

A TiB₂ a kompozit hőtágulási együtthatóját, elektromos- és hővezető képességét csökkenti, ugyanakkor a keménységét növeli [7]. Ezért az elvárt tulajdonságok függvényében más-más lehet a hozzáadott erősítőfázis mennyisége, az optimális arány. A W és a WC [11] a rézmátrix kopásállóságát, ívkihasználással szembeni ellenálló képességét javítja, ráadásul a kerámiaszemcsékkel erősített kompozit a szálerősítésével szemben izotróp is.

A szemcsés kompozitok alapanyagai kisebb költséggel állíthatók elő, továbbá a hagyományos fémelőállító

berendezésekkel gyárthatók. Minden kompozit esetén kiemelt szerephez jut a mátrix és az erősítőfázis közötti határfelület, melyen keresztül a terhelés megoszlik a kompozit fázisai között, miközben a határfelületen nyírófeszültség lép fel. Amennyiben ez a feszültség meghaladja a határfelület szilárdságát, akkor a mátrix és az erősítőfázis közötti kötések megszakadnak, és repedések alakulnak ki. A kompozit komponenseitől függően a kötés lehet ionos, fémes vagy kovalens. Fontos szempont még a határfelületi kötés kialakulásánál, hogy a mátrix mennyire nedvesíti az erősítőfázis szemcséit. A nedvesítés első sorban az olvadék fázisú előállítás esetén kulcskérdés. Az olvadék fázisú előállítás gazdaságosabb, mint a szilárd állapotban történő, azonban ekkor problémát okozhat az erősítőfázis inhomogén eloszlása, csoportosulása [4]. A két fázis között esetlegesen végbemenő kémiai reakciók termékei a kötés szempontjából szintén nem előnyösek [2, 5]. Ennek megakadályozására, valamint a nedvesítés, és ezzel az eloszlás homogenitásának javítása érdekében az erősítőszemcsék, szálak gyakran fémes bevonatot (általában réz vagy nikkal) kapnak [6]. A bevonat több feladatot is ellát:

- megfelelő kapcsolatot (kötést) alakít ki a mátrix és az erősítőfázis között;
- megakadályozza a határfelületen a rideg, káros reakciótermékek (pl. Al₄C) kialakulását, melyek a kompozit élettartamát is jelentősen csökkentenék;
- csökkenti a határfelületen kialakuló porozitást, mivel eutektikumot képez a mátrix anyagával, amely olvadék állapotban kitölti a porózus részeket.

Az olvadék fázisú (öntészeti) eljárások mellett szintén elterjedt technológia a porkohászat, amely szilárd állapotban történő előállítást jelent. A homogén eloszlás biztosítása ekkor sem egyszerű, egyrészt mert nincs olvadékfázis, amely a megfelelő nedvesítéssel elősegíthetné az adhéziót a fázisok között. Másrészt a hagyományos porkohászati eljárás (keverék összeállítása, sajtolás, szinterelés) alkalmazása során az erősítőfázis és a mátrix szemcseméretének jelentős eltérése szintén megnehezíti a kompozit komponenseinek egyenletes elkeverését [1].

Rézmátrixú kompozitok jellemzése

A fémekről általánosságban elmondható, hogy kis hőtágulás mellett jó az elektromos- és hővezető képességük. Ezek a tulajdonságok például hűtőbordák, elektronikai alkatrészek tokozásának, fedelének, hordozójának alapanyagánál szükséges elvárások. Amennyiben a jó vezetőképesség nagy keménységgel társul, akkor hegesztőelektrodák, szénkefék, csúszó érintkezők készülhetnek az adott anyagból. [7] A jó korrózióállóságú, nagy olvadáspontú réz elektromos érintkezések, tokozások, ellenálláshegesztésnél alkalmazott elektrodák kedvelt alapanyaga. Ugyanakkor az elektronikai ipar rohamos fejlődése egyre nagyobb elvárásokat támaszt az alkalmazott anyagokkal szemben, ez az igény keltette életre a rézmátrixú kompozitok kifejlesztését. A szín-réz alkalmazhatóságának határt szabnak mechanikai tulajdonságai, mind szoba-, mind nagyobb hőmérsékleten. Előbbi szignifikánsan növelhető mikroötvözők (Cr, Zr, Ag, Fe) adagolásával. Ezek a nemesített réz-

1. táblázat. A leggyakrabban alkalmazott erősítőfázisok és tulajdonságaik [3]

Anyagjellemzők	Erősítőfázis						
	SiC	Al ₂ O ₃	AlN	B ₄ C	TiB ₂	TiC	BN
Kristályrács	hex.*	hex.	hex.	rombos	hex.	köbös	hex.
Olvadáspont, °C	2830	2050	2300	2450	2900	3140	3000
Young-modulus, GPa	480	410	350	450	370	320	90
Sűrűség, g/cm ³	3,21	3,9	3,25	2,52	4,5	4,93	2,25
Hővezető képesség, W/mK	59	25	10	29	27	29	25
Mohs-keménység	9,7	6,5	-	9,5	-	-	1-2
Hőtágulási együttható, 10 ⁻⁶ 1/K	4,7-5	8,3	6	4-5	7,4	7,4	3,8

*hexagonális

2. táblázat. Rézmátrixú kompozitok összetétele és tulajdonsága

Referencia	Erősítőfázis (bevonat)	Előállítási mód	Vizsgált paraméterek				
			Relatív sűrűség [%]	Hővezetési tényező [W/m·K]	Hőtágulási együttható [10 ⁻⁶ /K]	Elektromos vezetőképesség	Keménység
4	5-15 V/V% SiC(WC)	hidegsajtolás, szinterelés	>97	290-245	n.a.	n.a.	n.a.
7	15-60 V/V% TiB ₂ (Cu)	melegsajtolás	>85	360-95	14,5-8,7	n.a.	HB 75-220
8	10 V/V% szemcsés SiC és SiC(Ni)	hidegsajtolás, szinterelés	>98,5	n.a.	n.a.	82,6-80,17% IACS	HB 78,1-84,6
9	2-20 V/V% SiC(Cu; Ni)	hidegsajtolás, szinterelés, újraszinterelés	>93,5	360-270	n.a.	75-70% IACS	HV 65-100
10	0,5-10 V/V% szemcsés SiC	meleg extrúzió	>92,9	n.a.	n.a.	n.a.	HV 20 g 65-85
12	5-20 V/V% szemcsés gyémánt (Cu, Cr)	hidegsajtolás, szinterelés	>88	315-190	n.a.	n.a.	n.a.
13	1-2 m/m% grafén	uniális melegsajtolás	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	HV 40-60
14	35-50 V/V% grafitzál (króm)	melegsajtolás	>96,5	380-412	6,1-9,4 (T=20 °C-250 °C)	n.a.	n.a.
15	mátrix: Cu(Sn, Zn, Ni), bronz + 0,1-4 m/m% szén nanocső	melegsajtolás	>85,57	n.a.	n.a.	30-58 MS/m (Cu); 5,2-6,2 MS/m (bronz)	HB 60-170
16	9,3-23,2 V/V% rövid szénszál (1-2 mm)	galvanizálás, hidegsajtolás, szinterelés, újraszinterelés	>94	286,2-157,4	15,1-10,8	50,2-29,8 (m/Ω mm ²)	HV 50 g 10 s 80-118
17	5-30 V/V% szemcsés vulkáni tufa	uniális sajtolás, szinterelés	n.a.	n.a.	n.a.	74,66-27,44% IACS	n.a.

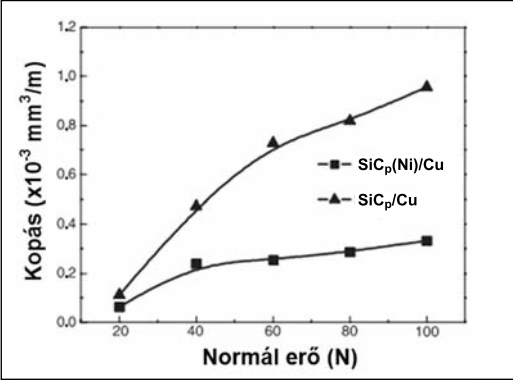
ötvözetek azonban 500 °C környékén, a kiválások durvulása következtében jelentősen veszítenek szilárdságukból. A mikroötvözés mellett egyre gyakoribb a réz, mint mátrixanyag kerámiaszemcsékkel, szálakkal történő erősítése. A kompozitanyagok alkalmazásával egyedi, korábban nem megvalósítható tulajdonságkombinációk érhetők el. A kerámiaszemcsék nagyobb hőmérsékleteken is megfelelő mechanikai tulajdonságokat (pl. jobb kopásállóságot) biztosítanak anélkül, hogy a mátrix vezetőképességét jelentősen csökkentenék [8]. A 2. táblázatban a rézmátrixú kompozitokban erősítőfázisként alkalmazható anyagokat, és az előállított kompozitok tulajdonságait foglaltuk össze. A rézmátrixú kompozitok legelterjedtebb erősítőfázisai az Al₂O₃ [6], a TiB₂ [6, 7], a SiC [8, 9, 10], a WC [11]. Ígéretes jövő előtt áll a gyémánt [12], a grafén [13], a grafit [14], valamint a szén nanocső [15], a karbonszál [16] és a vulkáni tufa [17] is.

A rézkompozitok leggyakoribb felhasználási területei:

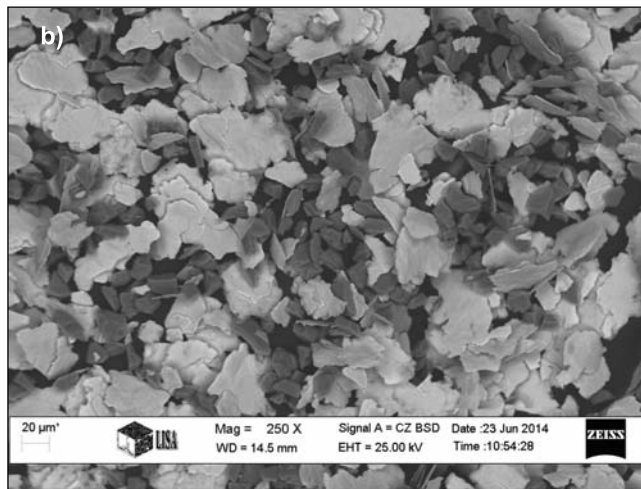
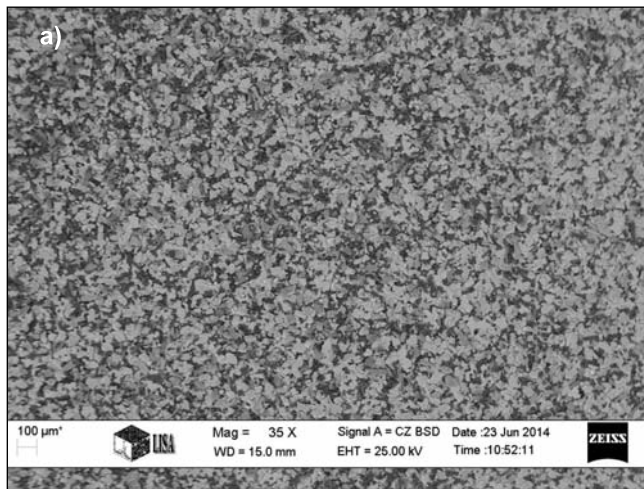
- hűtőbordák elektronikai alkatrészek számára (mikroprocesszorok, LED, lézerdíódák),
- elektronikai alkatrészek hordozói, tokozása,
- hegesztéshez használt fúvókák, elektródák,
- elektromos áramkör kapcsoló elemei,
- hőcserélők,

- egymáson csúszó érintkezők,
- űrtechnológia.

Mivel a kompozitok esetében a fázisok között a terhelés átadása a határfelületeken történik, ennek integritása, a fázisok közti megfelelő kötések kialakulása a rézkompozitok esetében is alapvető kritérium. A nem megfelelő nedvesítés kiküszöbölésére, a határfelületi reakciók elkerülésére több módszer is alkalmas. Bozic és munkatársai [6] kísérleteikben az in situ erősítést tanulmányozták, amelynél az erősítőfázis (esetükben Al₂O₃, illetve TiB₂) apró méretű kiválások, intermetallikus vegyületek formájában jön létre a mátrixban. A reakció mind szilárd, mind olvadék fázisú előállítás során végbemehet, eredményeként a kompozit szilárdsága, keménysége és kopásállósága egyaránt javul. A szilárd állapotban történő előállítás egyik legelterjedtebb módszere a mechanikai ötvözés, amellyel optimális esetben az erősítőszemcsék egyenletes, homogén eloszlása is biz-



1. ábra. SiC_p/Cu és SiC_p(Ni)/Cu kompozitok kopási vesztesége a terhelőerő függvényében [8]



2. ábra. Cu+30 m/m% SiC kompozit por SEM-felvétele 30 perces homogenizálás után a) N=35x b) N=250x (Kovács Árpád felvételei)

tosítható [1]. A mechanikai ötvözés nagy sebességű őrlés következtében alakul ki. Az őrlés hatására szemcseaprózódás megy végbe, miközben a rácsparaméter változik, a rács torzul, a kristályméret csökken, és az őrlésben részt vevő szemcsék keménysége nő. A fémes anyagok a mechanikai ötvözés során képlékeny alakváltozáson is átmehetnek, ennek következtében a hőmérséklet megemelkedik, az ötvözők diffúziója felgyorsul, és végbemegy az alkotók ötvöződése – így az őrléssel szilárd oldatok, intermetallikus vegyületek vagy akár amorf fázisok is előállíthatók.

A megfelelő nedvesítés eléréséhez elterjedt eljárás az erősítőszemcsék bevonása. Zhan és társai [8] Cu/SiC kompozitokat vizsgáltak. A Cu-SiC nedvesítési szög 1100 °C-on $\theta=140^\circ$, tehát nem nedvesítenek, így a köztük kialakuló (gyenge adhéziós) határfelületi kötés nem elégséges az elvárt mechanikai tulajdonságok teljesítéséhez. Ugyanakkor a Cu és a SiC hajlamosak reakcióba lépni egymással, ami tovább rontja a kompozit jellemzőit, mivel a határfelületen megjelenő rideg reakciótermék nem kedvező a mechanikai tulajdonságok szempontjából. A megfelelő kötés kialakulása érdekében a kutatók nikkellel vonták be a SiC-szemcséket, majd vizsgálták a porkohászati úton előállított kompozit kopásállóságát, töretfelületét. Azt tapasztalták, hogy az egyenletes Ni-bevonat növelte a kompozit relatív sűrűségét, keménységét, míg az elektromos vezetőképességet sem rontotta le a bevonás. A bevont szemcséket

3. táblázat. A kísérleti minták jelölése, összetétele és előállítási paraméterei

Mintajelölés	SiC-tartalom, m/m%	Keverési idő, perc	Sajtolónyomás, MPa
Cu2	-	-	500
Cu1SiC10-15	10	15	250
Cu1SiC20-15	20		
Cu1SiC30-15	30		
Cu1SiC10-30	10	30	
Cu1SiC20-30	20		
Cu1SiC30-30	30		
Cu2SiC10-15	10	15	500
Cu2SiC20-15	20		
Cu2SiC30-15	30		
Cu2SiC10-30	10	30	
Cu2SiC20-30	20		
Cu2SiC30-30	30		

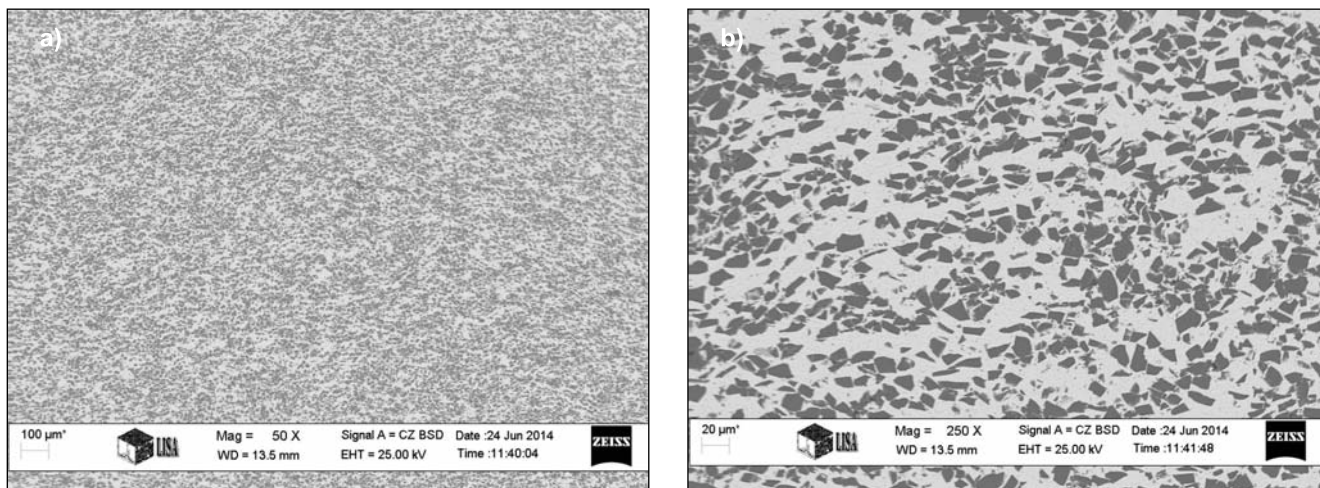
tartalmazó kompozit ($\text{SiC}_p(\text{Ni})/\text{Cu}$) hajlítószilárdsága is jobbnak bizonyult, mint a bevonat nélküli szemcséket tartalmazó kompozit (SiC_p/Cu). A Ni-bevonat a kompozit kopásállóságát is kedvezően befolyásolta (1. ábra).

Hong és társai [9] szintén mechanikai ötvözéssel előállított Cu/SiC kompozitokban a SiC bevonásának hatását vizsgálták, Cu- és Ni-bevonat készítésével. Kísérleteik alapján megállapították, hogy mind a Cu-, mind a Ni-bevonat jelentősen növelte a kompozit relatív sűrűségét, makrokeménységét, kopásállóságát. A kompozit elektromos- és hővezető képességénél nem tudtak számottevő javulást elérni. Megállapították azt is, hogy a Ni-bevonattal készített Cu/SiC(Ni) kompozit mechanikai tulajdonságai jobbakk lettek, mint a rézbe bevont szemcséket tartalmazó Cu/SiC(Cu).

Kísérletek rézkompozit előállítására

Kísérleteink célja rézmátrixú, SiC szemcseerősítésű kompozitok előállítása volt. A kísérletekhez ECKA Copper Flakes MP6100 jelölésű réz-ötvözetet (Cu2Zn), valamint a Norton AS által gyártott SiC-szemcséket használtuk. Mivel a további kísérletek célja forrasztható rézkompozitok előállítása, ezért Cu-Zn ötvözetet használtunk kísérleteink alapanyagául. A réz-cink ötvözethez 10, 20 és 30 m/m% SiC-ot adagoltunk, majd a keverékeket 15, illetve 30 percen keresztül homogenizáltuk, mechanikus keverőben. A 2. ábrán látható SEM-felvételeket a 30 perces keverést követően készítettük a mintákról. Látható, hogy a keverék eloszlása nem egyenletes, a SiC-szemcsék a lemezes alakú réz szemcsék között, csoportosultan helyezkednek el.

Ezt követően a keverékeket sajtol-



■ 3. ábra. Cu₂SiC₃₀₋₃₀ kompozit SEM-felvétele a) N=50x b) N=250x (Kovács Árpád felvételei)

tuk (250, illetve 500 MPa sajtolónyomással), majd nitrogén atmoszférában szintereltük (felfűtési sebesség: 10 °C/perc). A sajtoló mintákat 400 °C-on 20 percig, majd 700 °C-on 2 órán át hőn tartottuk. A minták összetételét, előállítási paramétereit a 3. táblázat tartalmazza. A minták jelölésében a Cu után álló 1 és 2 a sajtolónyomás nagyságára utal (250, illetve 500 MPa). A SiC mögött álló szám az erősítőfázis mennyiségét (10, 20 vagy 30 m/m%) jelzi, míg a jelölés végén a homogenizálás időtartamát jeleztük (15, illetve 30 perc).

A Cu₂SiC₃₀₋₃₀ minta a legnagyobb sajtolónyomással, hosszabb idejű homogenizálással készített, 30 m/m% SiC-et tartalmazó kompozit. A 3. ábrán jól látható, hogy az alkalmazott sajtolónyomás hatására a SiC-szemcsék orientálódtak, a nyomóerő irányára merőlegesen elfordultak. A kompozit szerkezetében egyfajta rétegződés is megfigyelhető, vélhetően a lemezes szemcséből álló mátrix hatására. Az orientálódás a kompozitról készített röntgen diffraktogramon (4. ábra) is megjelent, amit a csúcsok balra tolódása jelzett. A kompozitban a Cu és a SiC mellett Cu₂O-t azonosítottunk, vélhetően a keverés közbeni oxidálódás eredményeként.

Összefoglalás

A fémkompozitok napjaink kedvelt anyagai, mivel alkalmazásukkal korábban nem megvalósítható tulajdonságkombinációk érhetők el. A rézmátrixú kompozitok is egyre elterjedtebbek, köszönhetően jó elektromos- és

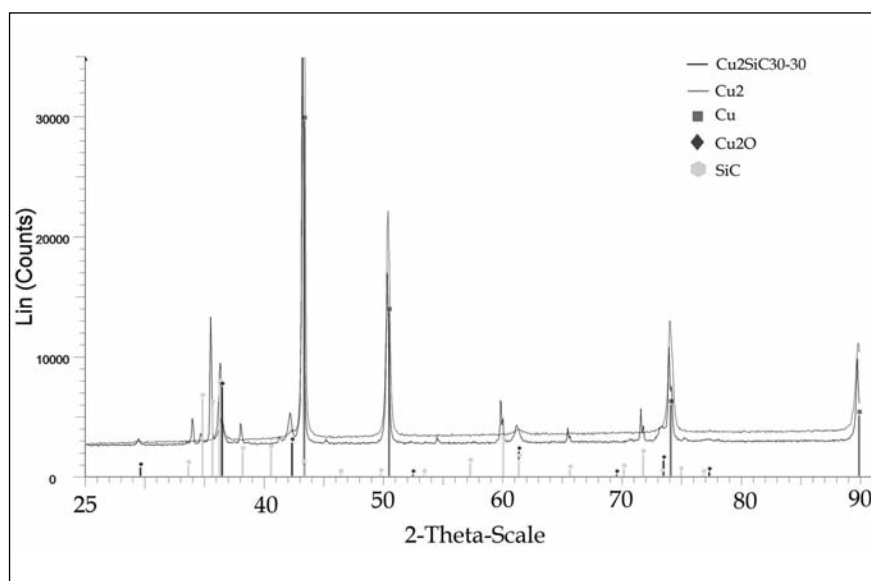
hővezető képességüknek, jó szilárdságuknak, korrózióállóságuknak. A rézkompozitokat leggyakrabban elektronikai alkatrészekben alkalmazzák, mágneskapcsolók, hűtőbordák, tokozások anyagaként.

A rézkompozitokkal végzett kísérletekből megállapítható, hogy az alkalmazott lemezes szemcséjű réz alapanyag jelentősen befolyásolta a kompozit szövetszerkezetét, hisz egyenletes, homogén szemcseeloszlás helyett az erősítőfázis szemcséi orientálódva, rétegekbe rendeződve helyezkedtek el. Az is jól látható az eddigi kísérleti eredményekből, hogy a kiindulási anyagok szemcsealakja és -mérete jelentősen meghatározza az előállított kompozit tulajdonságait.

Köszönetnyilvánítás

A kutatómunka a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területén működő Alkalmazott Anyagtudomány és Nanotechnológia Kiválósági Központ keretében, a TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0019 projekt eredményeire alapozva, a TÁMOP-4.2.2.D-15/1/KONV-2015-0017 projekt részeként – az Új Széchenyi Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

A szerzők ezúton fejezik ki köszönetüket dr. Gergely Gréta, Kovács Árpád és dr. Benke Márton részére a kísérletek, vizsgálatok lebonyolításában nyújtott segítségükért.



■ 4. ábra. Cu₂SiC₃₀₋₃₀ kompozit diffraktogramja (Készítette: dr. Benke Márton)

Irodalom

- [1] Gácsi Zoltán, Simon Andrea, Pázmán Judit: Fémkompozitok, Miskolci Egyetem, 2011, ISBN 978-963-661-979-4
- [2] Omid Ghaderi, Mohammad Reza Toroghinejad, Abbas Najafizadeh: Investigation of microstructure and mechanical properties of Cu–SiC_p composite produced by continual annealing and rollbonding process, Materials Science & Engineering A 565 (2013) 243–249.
- [3] K. U. Kainer: Metal Matrix Composites. Custom-Made Materials for Automotive and Aerospace Engineering, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co., 2006
- [4] K. K. Gan, N. Chen, Y. Wang and M. Y. Gu: SiC/Cu composites with tungsten coating prepared by powder metallurgy, Materials Science and Technology 2007 VOL 23 NO 1 119–122.
- [5] N. Chawla, K. K. Chawla: Metal Matrix Composites, Springer, 2006, ISBN 0-387-23306-7
- [6] D. Bozic, J. Stasic, B. Dimcic, M. Vilotijevic, V. Rajkovic: Multiple strengthening mechanisms in nanoparticle-reinforced copper matrix composites, Bull. Mater. Sci., Vol. 34, No. 2, April 2011, pp. 217–226.
- [7] P. Yih, D. D. L. Chung: Titanium diboride copper-matrix composites, Journal of Materials Science 32 (1997) 1703–1709.
- [8] Yongzhong Zhan, Guoding Zhang: The effect of interfacial modifying on the mechanical and wear properties of SiC_p/Cu composites, Materials Letters 57 (2003) 4583–4591.
- [9] Y. Hong, X. Chen, W. Wang, Y. Wu: Microstructure and properties of SiC particles reinforced copper based alloy composite; Modern Physics Letters B, Vol. 27. No. 19. 1341025 (7 pages) (2013)
- [10] F. Z. Dai, J. Z. Lu, Y. K. Zhang, D. P. Wen, L. Zhang, K. Y. Luo, X. J. Xu, L. Cai: Effect of submicron SiC particle on friction and wear properties of copper matrix composites under oil-lubricated condition; Advanced Composite Materials, Vol. 22. No. 3. pp. 191–202. (2013)
- [11] P. K. Deshpande, R.Y. Lin: Wear resistance of WC particle reinforced copper matrix composites and the effect of porosity, Materials Science and Engineering A 418 (2006) 137–145.
- [12] K. Raza, F. A. Khalid: Optimization of sintering parameters for diamond–copper composites in conventional sintering and their thermal conductivity; Journal of Alloys and Compounds, Vol. 615. pp. 111–118. (2014)
- [13] J. Dutkiewicz, P. Ozga, W. Maziarz, J. Pstrus, B. Kania, P. Bobrowski, J. Stolarska: Microstructure and properties of bulk copper matrix composites strengthened with various kinds of graphene nanoplatelets; Materials Science and Engineering A, (2015) Vol. 628. pp. 124–134.
- [14] H. Zhang, M. Chao, H. Zhang, A. Tang, B. Ren, X. He: Microstructure and thermal properties of copper matrix composites reinforced by chromium-coated discontinuous graphite fibers; Applied Thermal Engineering, Vol. 73. pp. 739–744. (2014)
- [15] S. M. Uddin, T. Mahmud, C. Wolf, C. Glanz, I. Kolaric, C. Volkmer, H. Höller, U. Wienecke, S. Roth, H. Fecht: Effect of size and shape of metal particles to improve hardness and electrical properties of carbon nanotube reinforced copper and copper alloy composites; Composites Science and Technology, Vol. 70. pp. 2253–2257. (2010)
- [16] L. Liu, Y. Tang, H. Zhao, J. Zhu, W. Hu: Fabrication and properties of short carbon fibers reinforced copper matrix composites; Journal of Material Science, Vol. 43. pp. 974–979. (2008)
- [17] M. Mikula, M. Lach, J. S. Kowalski: Copper Matrix Composites reinforced with volcanic tuff; Metalurgija Vol. 54. No.1. pp. 143-146 (2015)

GYÖKÉR ZOLTÁN – TERJÉK ANDREA – GYENES ANETT – GÁCSI ZOLTÁN

Az ezüst és a réz hatása az Sn-Ag-Cu forrasztanyagok szövetszerkezetére és mechanikai tulajdonságaira

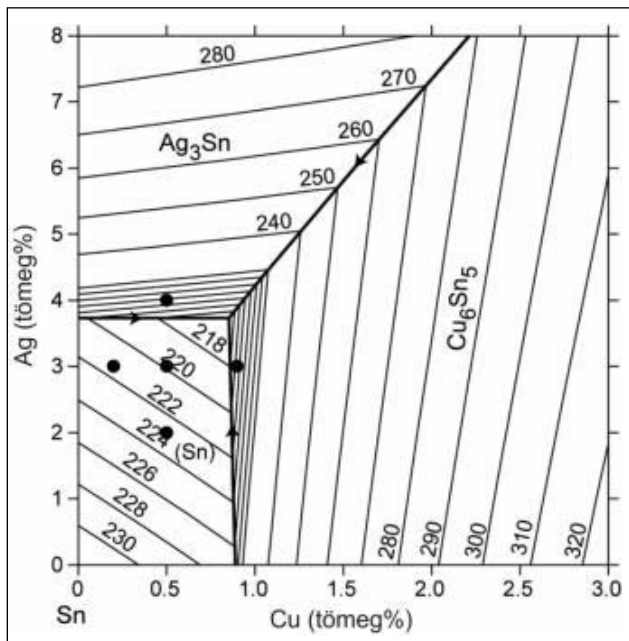
Az ólommentes átállást követően a forgalomban lévő alternatív forrasztótvözetek közül az Sn-Ag-Cu- (SAC-) ötvözetek bizonyultak a legmegfelelőbbnek az ólomtartalmú forrasztanyagok kiváltása szempontjából. Az egyik legelterjedtebb SAC-ötvözet 3 tömeg% ezüstöt és 0,5 tömeg% rézet tartalmazó SAC305 jelű forrasztanyag. Kutatómunkánk során öt különböző összetételű forrasztanyagon keresztül vizsgáltuk az ezüst és a réz hatását az Sn-Ag-Cu ólommentes forrasztanyagok szövetszerkezetére és mechanikai tulajdonságaira. Az ötvözők szövetszerkezetre gyakorolt hatásainak leírásához fény- és elektronmikroszkópos vizsgálatot, valamint mikroszondás analízist alkalmaztunk, továbbá a mechanikai tulajdonságok ($R_{p0,2}$, R_m , HV, nyúlás) meghatározásához szakítóvizsgálatot és keménységmérést végeztünk.

1. Bevezetés

Manapság egyre nagyobb figyelem összpontosul az ólommentes forrasztanyagokra, hiszen az Európai Unió

több rendeletet is hozott annak érdekében, hogy a veszélyes anyagok használatát csökkentsék, illetve megszüntessék az iparban. Ilyen rendeletek az RoHS (Restriction of Hazardous Substances) és a WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment) direktívák. Az előbbi rendelet az elektronikai iparban előállított termékekben felhasznált veszélyes anyagok, mint a higany-, a kadmium-, a krómszármazékok és az ólom, valamint az elektronikai készülékekből származó hulladék mennyiségi korlátozásaira irányul. Ezek közül kivételt képeznek a nagy olvadáspontú forrasztótvözetek, mivel ezeknek nincs megfelelő ólommentes alternatívájuk. Az utóbbi rendelet az újrahasznosítással hozható kapcsolatba, melynek célkitűzése, hogy az elektromos és az elektronikus eszközökből keletkező hulladék mennyiségét minimalizálják, és ezeket újra

dous Substances) és a WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment) direktívák. Az előbbi rendelet az elektronikai iparban előállított termékekben felhasznált veszélyes anyagok, mint a higany-, a kadmium-, a krómszármazékok és az ólom, valamint az elektronikai készülékekből származó hulladék mennyiségi korlátozásaira irányul. Ezek közül kivételt képeznek a nagy olvadáspontú forrasztótvözetek, mivel ezeknek nincs megfelelő ólommentes alternatívájuk. Az utóbbi rendelet az újrahasznosítással hozható kapcsolatba, melynek célkitűzése, hogy az elektromos és az elektronikus eszközökből keletkező hulladék mennyiségét minimalizálják, és ezeket újra



■ 1. ábra. Az Sn-Ag-Cu háromalkotós egyensúlyi fázisdiagram Sn-felőli részlete [6] a vizsgált ötvözetek jelölésével

felhasználhatóvá tegyék. Továbbá csökkenteni igyekszik a viszonylag olcsóbb eljárások és a kidobott eszközök környezetkárosító hatását [1].

Az autóiparban kiemelkedően fontos a forraszkötések megbízhatósága, hiszen emberéletek múlhatnak rajta. Ebből következően számos kutatómunka folyik az ólomtartalmú forrasztanyagok kiváltásával kapcsolatban, melynek eléréséhez többféle ötvözt is kipróbáltak. A forgalomban lévő ólommentes forrasztanyagok ónt, rézet, ezüstöt, bizmutot, indiumot, cinket, antimont és nyomokban más fémeket is tartalmazhatnak. Az ólomot mint ötvözt tökéletesen még nem sikerült kiváltani, ezért az ólommentes forrasztanyagok bizonyos tulajdonságokban eltérnek az ólomtartalmú ötvözetektől. Jelentős hátrányuk, hogy az ólomot kiváltó elemek sokkal drágábbak, valamint az ötvözeteknek nagyobb az olvadáspontjuk, amely nagymértékben megnöveli az előállítás és a felhasználás költségét. Az alternatív ötvöztök közül a két legelterjedtebb elem az ezüst és a réz [2].

Ezüst hozzáadásával a forrasztanyag jobb nedvesítőképességet mutat az ezüstöt nem tartalmazó ötvözetekhez képest, így széleskörű a felhasználhatósága. Továbbá csökkenti az ötvözet olvadáspontját, és szemcsefinomító hatása is van, valamint megnöveli a termikus kifáradási

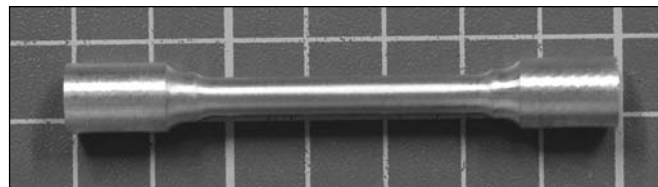
forrasztanyagoknak, ami azt jelenti, hogy mechanikai sokk hatására könnyebben tönkremehet az anyag [3]. A réz ötvöztöként szintén csökkenti a forrasztanyag olvadáspontját, emellett növeli a keménységét, a szilárdságát és a rugalmassági modulusát is. Továbbá szintén javítja a nedvesíthetőséget, valamint a hőszokkal szembeni ellenálló képességet [4].

Az elsődleges ólomtartalmú forrasztanyagokat helyettesítő ötvözetrendszer az Sn-Ag-Cu (ún. SAC) háromalkotós rendszer, melynek ötvözetek közül a SAC305 jelű forrasztanyag az egyik legelterjedtebb. A SAC jelölés után lévő számok sorrendjüknek megfelelően az ónt (Sn), az ezüst (Ag) és a réz (Cu) ötvöztök mennyiségi arányát jelentik, tehát ez az ötvözet 3 tömeg% ezüstöt és 0,5 tömeg% rézet tartalmaz [5].

Az 1. ábra az Sn-Ag-Cu háromalkotós egyensúlyi fázisdiagram Sn-felőli részletét mutatja [6], amelyen fekete pontokkal jelöltük az általunk vizsgált ötvözeteket (1. táblázat). Az Sn-Ag-Cu fázisdiagramon látható, hogy a β -Sn szilárd oldat két intermetallikus vegyülettel tart egyensúlyt, melyek az Ag_3Sn és a Cu_6Sn_5 fázisok. 217°C -on 3,7 tömeg% Ag- és 0,85 tömeg% Cu-tartalomnál (β -Sn+ Ag_3Sn + Cu_6Sn_5) ternér eutektikum keletkezik. A ternér eutektikus összetétellel kapcsolatban megjegyzendő, hogy kü-

1. táblázat. A vizsgált ötvözetek névleges összetétele

Ötvözet	Kémiai összetétel, tömeg%		
	Sn	Ag	Cu
SAC305	96,5	3	0,5
SAC302	96,8	3	0,2
SAC309	96,1	3	0,9
SAC205	97,5	2	0,5
SAC405	95,5	4	0,5



■ 2. ábra. A kimunkált szakítópróbatestről készült fotó

határát. A kompressziós modulusa viszont rosszabb az ezüsttartalmú

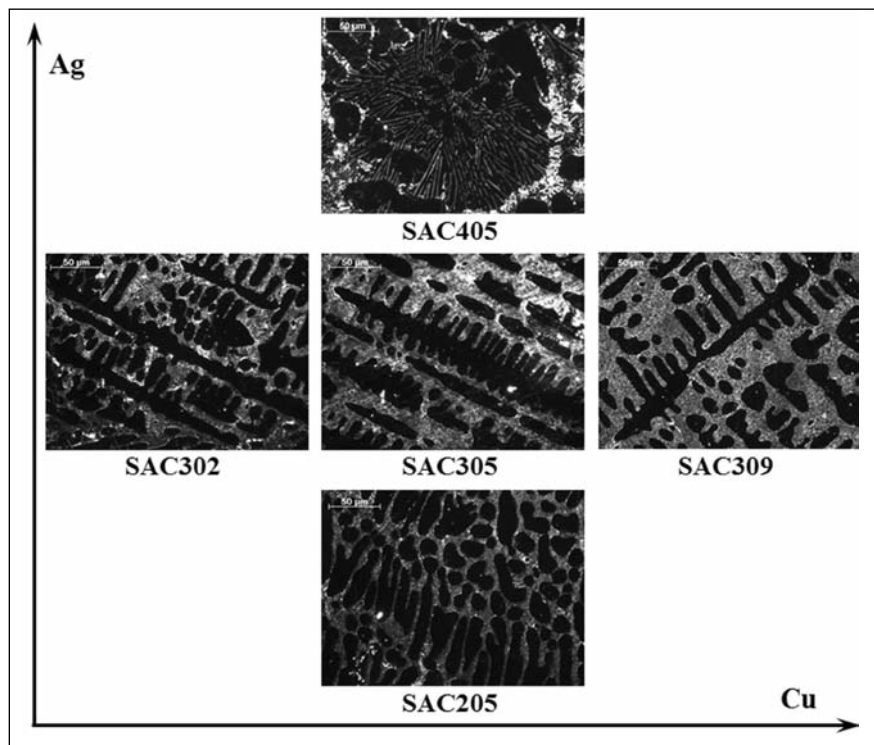
lőnböző értékeket találhatunk az egyes szakirodalmakban (pl. 3,6 tömeg% Ag; 0,96 tömeg% Cu [7]).

Kutatómunkánk során öt különböző összetételű Sn-Ag-Cu ólommentes forrasztötvözet szövetszerkezeti és mechanikai tulajdonságait vizsgáltuk, különös tekintettel az Ag- és a Cu-tartalom változásának hatásaira. Továbbá cikkünkben kitérünk a szövetszerkezetben bekövetkező változások és a mechanikai tulajdonságok kapcsolatára is.

2. A vizsgálatok ismertetése

A vizsgálatokhoz szükséges forrasztötvözetek – melyeket a Henkel Magyarország Kft. biztosított a számunkra – tömbi formában álltak a rendelkezésünkre. Az alapanyag feldarabolását követően kerámiategelybe raktuk azokat, majd 400°C -os kemencébe helyeztük. 20 perc hőntartást követően az olvadékot egy 200°C -ra előmelegített acélkokillába öntöttük. A forrasztanyag megszilárdulása után a kokillát szétszedtük és eltávolítottuk a hengeres próbatestet, amely a továbbiakban levegőn hűlt [8]. A szakítóvizsgálatokhoz ötvözetenként 5-5 szakítópálcát öntöttünk.

A szövetszerkezet-vizsgálatokat az öntött szerkezetű hengeres próbatestek keresztcsiszolatain végeztük el, melyhez Zeiss AxioVision Imager m1M típusú fénymikroszkópot és Zeiss EVO MA10 típusú pásztázó elektronmikroszkópot (SEM), illetve EDAX típusú mikroszondát használtunk.



■ 3. ábra. Az ezüst és a réz hatása az Sn-Ag-Cu forrasztanyagok szövetszerkezetére

A mikroszkópos vizsgálatokhoz szükséges csiszolatokat több lépésben készítettük elő. A vizes csiszolást (P240, P320, P500, P800, P1200, P2000, P2400 csiszolópapíron) kétféle polírozás követte, először MD Mol és

MD Nap típusú posztókon Lubricant Blue folyadékkal, majd 0,02 μm -es SiO_2 -részecskéket tartalmazó kolloiddal [8]. A fénymikroszkópos vizsgálatok elvégzését követően a SEM-vizsgálatokhoz további maratásra volt

szükség, amelyhez a darabokat 38%-os HF gőzében 30 másodpercig marattuk.

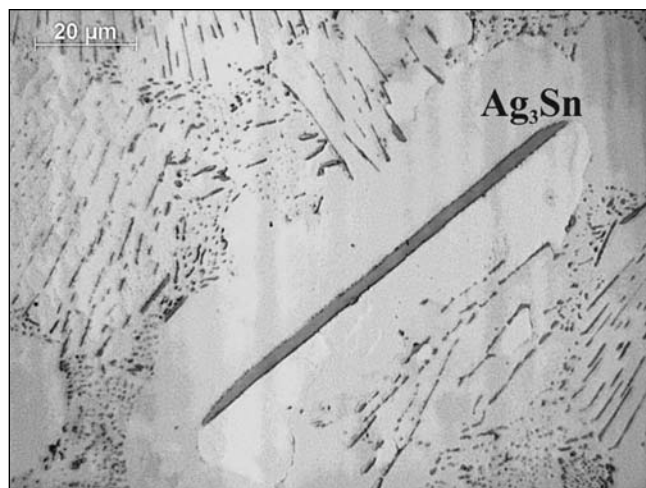
A leöntött hengeres mintákból a DIN EN 50125 szabványnak megfelelő 5 mm átmérőjű szakítópróbatesteket munkáltattunk ki (2. ábra). Minden ötvözet esetén 5-5 minta szakítóvizsgálatára került sor Instron 5982 típusú, 10 tonnás, padlótelepítésű univerzális anyagvizsgáló berendezéssel. A szakítások szobahőmérsékleten, 3 mm/perc szakítási sebességgel történtek, mely 10^{-3} s^{-1} alakváltozási sebességnek felelt meg. A nyúlást 25 mm jeltávon mértük.

A szövetszerkezet-vizsgálathoz használt mintákon Vickers (HV) keménységméréseket is végeztünk, 0,3 kg terhelőerőt és 10 s terhelési időt alkalmazva. A vizsgálathoz Instron Tukon 2100 B keménységmérő berendezést használtunk. Minden minta esetén 10 párhuzamos mérést végeztünk.

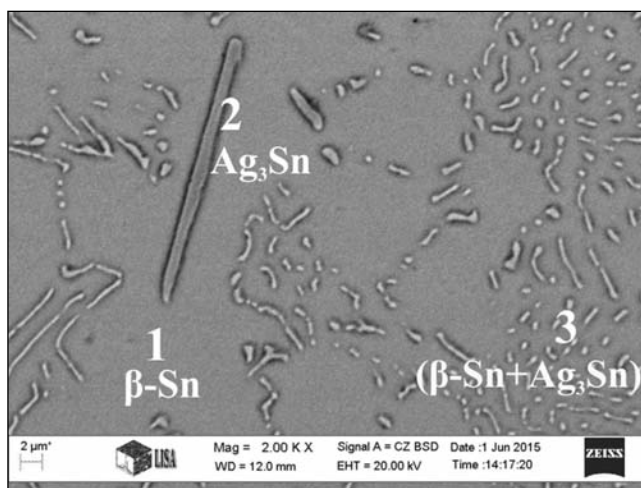
3. Eredmények

3.1. Az ezüst és a réz szövetszerkezetre gyakorolt hatásai

A forrasztanyagok fénymikroszkópos vizsgálata során sötét és világos látó-



a)

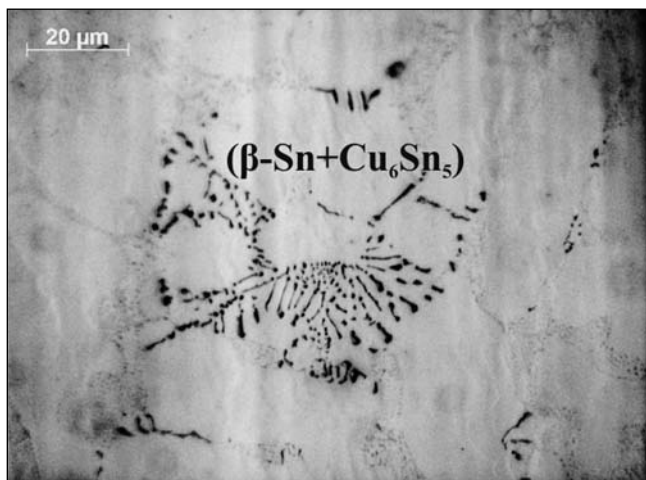


b)

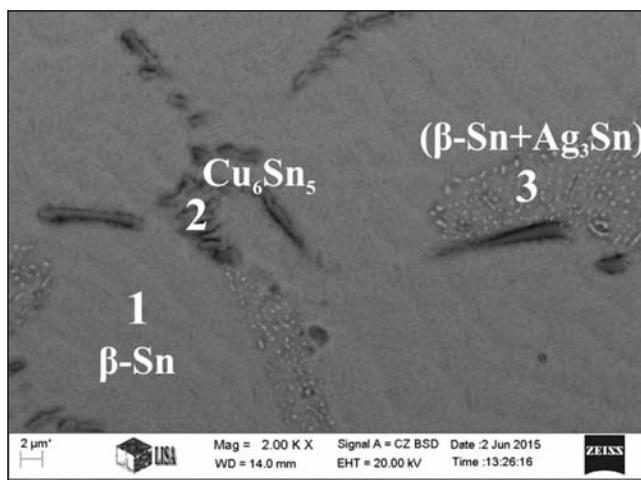
Elem	1. pont		2. pont		3. pont	
	tömeg%	atom%	tömeg%	atom%	tömeg%	atom%
Ag	0,00	0,00	60,93	62,96	24,98	26,82
Sn	99,69	99,42	38,65	36,30	74,56	72,34
Cu	0,31	0,58	0,42	0,74	0,46	0,84
Össz.	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

c)

■ 4. ábra. A SAC405 forrasztanyag szövetszerkezetéről készült fénymikroszkópos (a) és elektronmikroszkópos (b) felvételek, valamint a mikroszondával elemzett pontok kémiai összetételei (c)



a)



b)

Elem	1. pont		2. pont		3. pont	
	tömeg%	atom%	tömeg%	atom%	tömeg%	atom%
Ag	0,13	0,14	0,75	0,69	9,68	10,51
Sn	99,67	99,49	77,38	64,99	89,91	88,72
Cu	0,20	0,37	21,87	34,32	0,42	0,77
Össz.	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

c)

■ **5. ábra.** A SAC205 forrasanyag szövetszerkezetéről készült fénymikroszkópos (a) és elektronmikroszkópos (b) felvételek, valamint a mikroszondával elemzett pontok kémiai összetételei (c)

2. táblázat. A vizsgált SAC ötvözetek mechanikai tulajdonságai

Ötvözet	R _{p0,2} , MPa		R _m , MPa		Nyúlás, %		HV0,3	
	Átlag	Szórás	Átlag	Szórás	Átlag	Szórás	Átlag	Szórás
SAC305	39,03	1,47	46,54	1,29	35,78	4,68	15,1	0,4
SAC205	27,83	0,50	34,94	0,59	38,20	1,03	12,1	0,4
SAC405	33,45	3,40	42,68	3,01	31,64	1,76	13,3	0,3
SAC302	31,34	1,31	39,49	1,01	40,11	4,77	13,4	0,4
SAC309	37,73	1,96	45,56	1,67	26,48	3,94	14,4	0,6

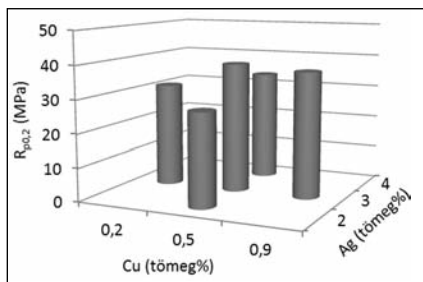
térben készítettünk felvételeket attól függően, hogy milyen fázisokat, illetve szövetelemeket tartalmazott a minta. A sötét látótér alkalmazása során sokkal jobban elkülönül az eutektikum a dendrites szerkezettől, ugyanakkor egyes vegyülefázisok kevésbé láthatóak vele, ezért ilyen esetekben

világos látótérben készítettünk felvételeket.

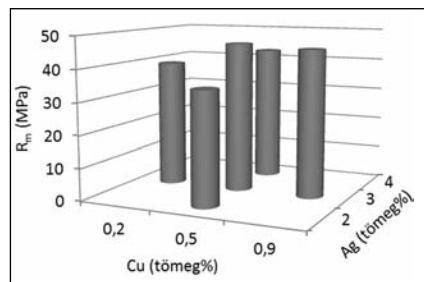
A 3. ábrán az ezüst- és a réztartalom változásának függvényében láthatók a vizsgált ötvözetekről sötét látótérben készült fénymikroszkópos felvételek, mely jól szemlélteti a két elem együttes hatását az Sn-Ag-Cu

forrasanyagok szövetszerkezetére. Mind az ezüst-, mind a réztartalom növekedésével nő a (β-Sn+Ag₃Sn+Cu₆Sn₅) ternér eutektikum (szürke) aránya, illetve ezzel párhuzamosan csökken a β-Sn dendriték (fekete) mennyisége a szövetben. Azonban 4 tömeg% Ag-tartalom (SAC405) esetén a szövetszerkezet jelentősen megváltozik, az addig hipoeutektikus szerkezet hipereutektikussá válik, és kis mennyiségben megjelenik a primer Ag₃Sn intermetallikus vegyület, mely a keresztmetszeti szövetképen tűs alakban látható lemezes fázis (4a és 4b ábra). Továbbá jelentős mennyiségben megjelenik a szintén lemezes (β-Sn+Ag₃Sn) biner eutektikum, illetve ezen eutektikus cellák szélein a (β-Sn+Ag₃Sn+Cu₆Sn₅) ternér eutektikum. A SAC405 ötvözet egyes fázisainak mikroszondával elemzett kémiai összetételei a 4c ábrán láthatók.

A SAC205 és a SAC309 ötvözetek esetén a szövetszerkezetben helyenként megjelenik a (β-Sn+Cu₆Sn₅) biner eutektikum, mely az 5. ábrán látható a mikroszondás analízis eredményeivel.



■ **6. ábra.** A folyáshatár változása az Ag- és a Cu-tartalom függvényében



■ **7. ábra.** A szakítószilárdság változása az Ag- és a Cu-tartalom függvényében

3.2. Az ezüst és a réz mechanikai tulajdonságokra gyakorolt hatásai

A 2. táblázat tartalmazza a vizsgált Sn-Ag-Cu forrasanyagok szakítóvizsgálatának és keménységmérésének eredményeit. Az ötvöztartalom változásával, a szövetszerkezetben bekövetkező változások révén a mechanikai tulajdonságokban is eltérések figyelhetők meg.

A 6., illetve a 7. ábrán látható az Ag és a Cu folyáshatára, valamint szakítószilárdságra gyakorolt hatása. A vizsgált ötvözetek közül a legnagyobb folyáshatárral és szakítószilárdsággal a SAC305 és a SAC309 ötvözetek rendelkeznek közel azonos értékekkel, viszont a nyúlásban (8. ábra) már jelentős eltérés figyelhető meg, melynek oka feltehetően a SAC309 forrasanyagban megjelenő (β -Sn+Cu₆Sn₅) biner eutektikum.

Jól látható továbbá, hogy a kisebb ötvöztartalmú SAC205 és SAC302 forrasanyagok $R_{p0,2}$ és R_m értéke a legkisebb, nyúlásuk a legnagyobb. Az Ag- és a Cu-tartalom növekedésével a nyúlás egyértelműen csökken (8. ábra), aminek oka a β -Sn szilárd oldat mennyiségének csökkenése, valamint az eutektikum arányának növekedése.

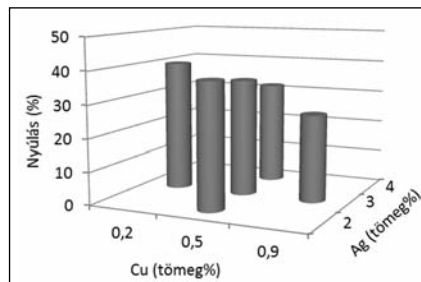
A legnagyobb ezüsttartalmú hiper-eutektikus SAC405 ötvözet szövetszerkezetének jelentős eltérése a mechanikai tulajdonságokban is látható, mely az összes érték esetén kisebb, mint a SAC305 forrasanyagé.

A keménység értékeinek változásában (9. ábra) nagyon hasonló tendencia figyelhető meg, mint a folyáshatár és a szakítószilárdság esetén, mely szintén a már leírt szövetszerkezeti változásokra vezethető vissza.

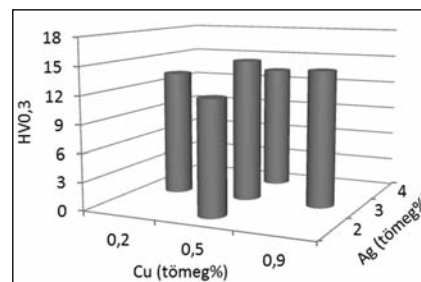
4. Összefoglalás

Kutatómunkánk során az ezüst és a réz hatását vizsgáltuk az Sn-Ag-Cu (SAC) ólommentes forrasanyagok szövetszerkezetére és mechanikai tulajdonságaira. Az elvégzett vizsgálatok alapján az alábbi megállapításokat tehetjük:

1. Az Ag- és a Cu-tartalom növekedésével csökken a β -Sn szilárd oldat mennyisége, mellyel párhuzamosan nő a (β -Sn+Ag₃Sn+Cu₆Sn₅)



8. ábra. A nyúlás változása az Ag- és a Cu-tartalom függvényében



9. ábra. A keménység változása az Ag- és a Cu-tartalom függvényében

ternér eutektikum aránya, ami a szilárdsági értékek ($R_{p0,2}$, R_m , HV) növekedését, míg a nyúlás csökkenését eredményezi.

2. 4 tömeg% Ag-tartalom (SAC405) esetén a szövetszerkezet jelentősen megváltozik, az addig hipoeutektikus szerkezet hipereutektikusává válik, és kis mennyiségben megjelenik a primer Ag₃Sn intermetallikus vegyület, valamint jelentősebb mennyiségben a (β -Sn+Ag₃Sn) biner eutektikum, illetve ezen eutektikus cellák széléin a (β -Sn+Ag₃Sn+Cu₆Sn₅) ternér eutektikum. Ezen változások a vizsgált mechanikai tulajdonságok ($R_{p0,2}$, R_m , HV, nyúlás) csökkenését eredményezik a SAC305 forrasanyaghoz képest.

3. A SAC205 és a SAC309 ötvözetek esetén a szövetszerkezetben a β -Sn szilárd oldat dendritok és a (β -Sn+Ag₃Sn+Cu₆Sn₅) ternér eutektikum mellett megjelenik a (β -Sn+Cu₆Sn₅) biner eutektikum is. Megállapítható tehát, hogy az általunk vizsgált öt forrasanyag közül – a szilárdsági értékek ($R_{p0,2}$, R_m , HV) és a nyúlás viszonyának függvényében – az iparban is az egyik legelterjedtebb SAC305 ötvözet rendelkezik a legjobb mechanikai tulajdonságokkal. Azonban gazdaságossági szempontokat figyelembe véve a kisebb ezüsttartalmú SAC205 ötvözet alkalmazása is szóba jöhet, amennyiben a felhasználás szempontjából kisebb szilárdsági értékek is megengedhetők. A nagyobb ezüsttartalmú hiper-eutektikus SAC405 ötvözet forrasanyagként történő alkalmazása viszont kerülendő, mert a megjelenő nagyméretű primer Ag₃Sn intermetallikus vegyületfázis krisztallitjai rontják a forraszthatóságot.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnénk köszönetet mondani Kissné dr. Svéda Máriának és dr. Sycheva Annának a pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatokért, valamint Mikó Tamásnak a szakítóvizsgálatok elvégzéséért. Köszönet illeti továbbá a Henkel Magyarország Kft.-t a forrasötvözetek biztosításáért.

A kutatómunka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 projekt eredményeire alapozva a TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0019 jelű projekt részeként – az Új Széchenyi Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalom

- [1] J. Bath: Lead-Free Soldering, Springer US, 2007
- [2] J. W. Evans: A Guide to Lead-free Solders: Physical Metallurgy and Reliability, Werner Engelmaier, 2007
- [3] R. Pandher, T. Lawlor: Cookson Electronics Assembly Materials, <http://alpha.alent.com> (letöltés: 2015. május 30.)
- [4] A. A. El-Daly, F. El-Tantawy, A. E. Hammad, M. S. Gaafar, E. H. El-Mossalamy, A. A. Al-Ghamdi: Journal of Alloys and Compounds 509 (2011) pp. 7238–724.
- [5] K. S. Kim, S. H. Huh, K. Saganuma: Materials Science and Engineering: A Vol. 333 (2002) pp. 106–114.
- [6] <http://www.metallurgy.nist.gov/phase/solder/agcusrn-ii.jpg> (2015.05.30.)
- [7] K. W. Moon, W. J. Boettinger: Vol. 56 (2004) pp. 22–27.
- [8] Gyenes A., Lanszki P., Nagy E., Gácsi Z.: BKL Kohászat, 147/2. (2014) pp. 12–17.

Többalkotós Sn-Ag-Cu alapú ólommentes forrasztanyagok vizsgálata

Az Európai Unió által bevezetett direktívák szerint az ólomot egészségkárosító és környezetszennyező hatása miatt betiltották a gyártási folyamatokban, ezért megindult az ólommentes forrasztanyagok fejlesztése. Cikkünkben különböző összetételű, többalkotós Sn-Ag-Cu alapú ólommentes forrasztanyagokat vizsgáltunk. A hatalkotós Innolot forrasztanyag és két csökkentett ezüsttartalmú ötvözet tulajdonságait hasonlítottuk össze az ipari gyakorlatban széles körben elterjedt SAC305 ötvözetével. A forrasztótvözeteken szövetszerkezet- és röntgendiffrakciós vizsgálatokat végeztünk a létrejött fázisok azonosításához, valamint szakítóvizsgálat és keménységmérés történt a mechanikai tulajdonságok meghatározásához.

1. Bevezetés

A forrasztanyagok gyártásánál fontos szempont, hogy alkalmazásuk milyen mértékben szennyezi a környezetet és ezáltal károsítja az egészségünket. Környezetvédelmi okokból az Európai Unió az alábbi direktívákat vezettette be: WEEE = Waste Electrical and Electronic Equipment (az elektromos és elektronikus berendezések hulladékainak kezelése) és RoHS = Restriction of Certain Hazardous Substances (az ismert veszélyes nyersanyagok felhasználásának korlátozása). Ezen direktívák szabályozzák az elektromos és elektronikus készülékekben felhasznált veszélyes anyagokat, többek között az ólomot, melynek értelmében az elektronikai iparnak fokozatosan át kell állnia az ólommentes forrasztótvözetek használatára az ón-ólm forrasztanyagok helyett [1, 2].

Az Sn-Ag-Cu (SAC) alapú ötvözetek az iparban a legelterjedtebb forrasztanyagok. Azonban ezek az ötvözetek sem tudják tökéletesen helyettesíteni a már jól bevált ólomtartalmú forrasztanyagokat. Ez indokolja az újabb ötvözetek fejlesztését [3]. Kutatómunkánk során az iparban leggyakrabban használt forrasztótvözetek

közül a SAC305 és egy új hatalkotós, Innolot elnevezésű (általunk „SAC387+BiSbNi” jelöléssel ellátott) forrasztanyagot, valamint két, az iparban még kevésbé alkalmazott csökkentett ezüsttartalmú ötvözetet vizsgáltunk, amelyek névleges kémiai összetétele az 1. táblázatban látható.

Az Innolot (továbbiakban SAC387+BiSbNi) elnevezésű forrasztanyag a széles körben elterjedt SAC ötvözet továbbfejlesztett változata. Amint az 1. táblázatból is látható, a SAC-rendszerhez további ötvözőelemeket – bizmutot, antimont és nikkelt – adagoltak, hogy javítsanak az ötvözet mechanikai tulajdonságain. A bizmut egy része és az antimon szilárd oldatos formában, míg a nikkelt intermetallikus vegyületefázisok létrehozásával növeli a forrasztanyag szilárdságát [4].

A SAC305 és a SAC387+BiSbNi forrasztanyagok nagy ezüsttartalmuk miatt jelentősen drágítják ezen ötvözetek előállítását, ezért a gyártók olyan forrasztanyagok fejlesztésén is dolgoznak, melyek a lehető legkevesebb ezüstöt tartalmazzák [2, 5]. Erre láthatunk példát az 1. táblázatban szereplő utolsó két ötvözet esetén, melyek mindössze 0,3, illetve 0,7

tömeg% ezüstöt tartalmaznak.

Az elvégzett vizsgálatok célja volt egyrészt összehasonlítani a SAC305 ötvözetet a SAC387+BiSbNi ötvözetel, másrészt megvizsgálni, hogy az ezüsttartalom csökkentése milyen hatással van a forrasztanyag mechanikai és szövetszerkezeti tulajdonságaira.

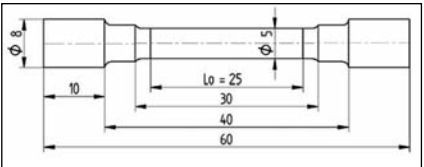
2. A kísérlet és a vizsgálatok bemutatása

A próbatestek előállításához szükséges tömbi forrasztótvözeteket (1. táblázat) a Henkel Magyarország Kft. biztosította számunkra. A tömbi forrasztanyagokat egy ellenállás-fűtésű kemencébe helyezett kerámiatégelyben 400 °C-on olvasztottuk meg. Az olvadékat 15 perces hűtést követően 200 °C-ra előmelegített acélkocillába öntöttük. A forrasztanyag megszilárdulását követően a kocillát szétszedtük és eltávolítottuk a próbatesteket. A szakítóvizsgálatokhoz ötvözetenként öt szakítópalcát öntöttünk, míg a röntgendiffrakciós vizsgálatokhoz egy érempróbát. [6]

A szövetszerkezet-vizsgálatokhoz a hengeres, 11 mm átmérőjű előtermékből vágunk le mintákat, melyeket kétkomponensű Duracryl típusú hideg műgyantába ágyaztunk. A szövetszerkezet-vizsgálatokhoz Zeiss AxioVision Imager m1M típusú fénymikroszkópot és Zeiss EVO MA10 típusú pásztázó elektronmikroszkópot (SEM), illetve EDAX típusú mikroszondát (EDX) használtunk. A fénymikroszkópos vizsgálatokhoz a csiszolatok előkészítése három fő lépésből állt: vizes csiszolás (P240, P320, P500, P800, P1200, P2000, P2400 csiszolópapírokon); majd polírozás MD Mol és MD Nap

1. táblázat. A vizsgált ötvözetek névleges kémiai összetétele tömeg%-ban

Ötvözet	Ag	Cu	Bi	Sb	Ni	Sn
SAC305	3,0	0,5	-	-	-	96,5
SAC387+BiSbNi	3,8	0,7	3	1,4	0,15	90,95
SAC0307+BiSbNi	0,3	0,7	3	1,5	0,15	94,35
SAC0807+Bi	0,8	0,7	3	-	-	95,5



1. ábra. A szakítópróbatest műszaki rajza

típusú posztókon Lubricant Blue folyadékkal; végezetül még egy polírozás 0,02 μm -es SiO_2 -részecskéket tartalmazó kolloiddal [6]. Az elektronmikroszkópos vizsgálathoz további marataásra is szükség volt, melyet 38%-os HF gőzében 30 s-ig végeztünk el.

A fázisok azonosítása céljából Phillips 1830 típusú berendezéssel röntgendiffrakciós vizsgálatot végeztünk.

Az öntés során előállított hengeres mintákból az 1. ábrán látható, DIN EN 50125 szabványnak megfelelő szakítópróbatesteket munkáltattunk ki. A szakítóvizsgálatot Instron 5982 típusú, 10 tonnás, padlótelepítésű univerzális anyagvizsgáló berendezéssel végeztük el. A szakítások szobahőmérsékleten, 3 mm/perc szakítási sebességgel történtek, amely 10^{-3} s^{-1} alakváltozási sebességnek felel meg.

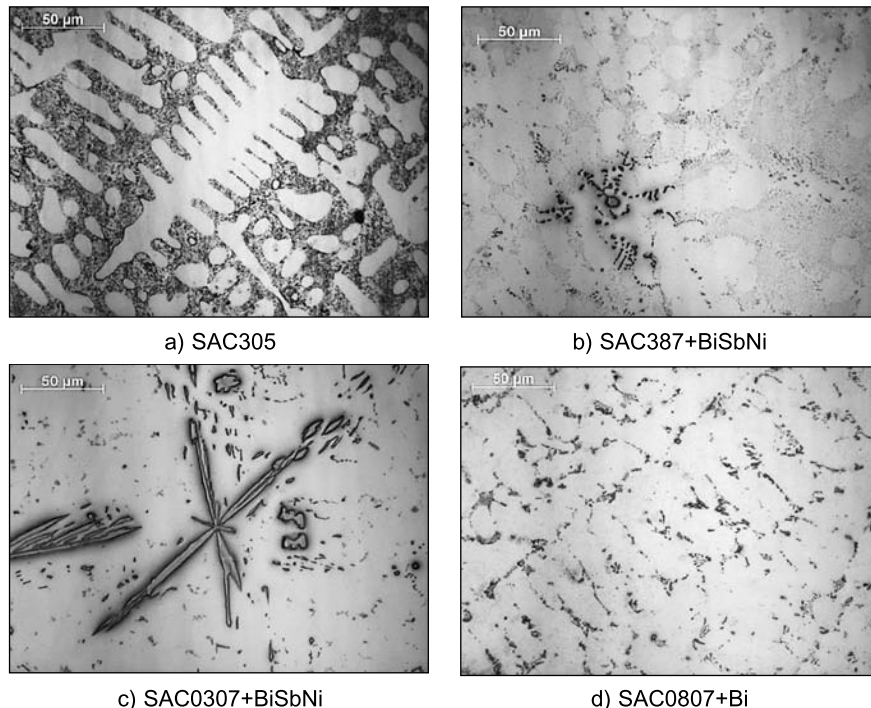
A szövetszerkezet-vizsgálathoz használt mintákon Vickers (HV) keménységméréseket végeztünk, 0,3 kg terhelőerőt és 10 s terhelési időt alkalmazva. A vizsgálathoz Instron Tukon 2100 B keménységmérő berendezést használtunk. Minden minta esetén 10 párhuzamos mérést végeztünk.

3. Eredmények

3.1. Szövetszerkezet-vizsgálati eredmények

A 2. ábrán a vizsgált ötvözetekről készült fénymikroszkópos felvételek láthatóak. A SAC305, a SAC387+BiSbNi és a SAC0807+Bi ötvözetek hipoeutektikus szövetszerkezetet mutatnak β -Sn szilárd oldat dendritekkel és az egyes ötvözetek összetételétől függő különböző arányú és minőségű eutektikumokkal.

A SAC0307+BiSbNi ötvözet szöveteiképpen hipereutektikus szövetszerkezet látszik, mely nagyméretű primer $(\text{Cu},\text{Ni})_6\text{Sn}_5$ intermetallikus vegyület-fázisokat és különböző – feltehetően elfajult – eutektikumokat tartalmaz. Ezen ötvözet esetén jól látható, hogy az ezüsttartalom ilyen mértékű csökkentése a forrasztanyag szövetszerkezetében jelentős változást okoz. A megjelenő nagyméretű primer $(\text{Cu},\text{Ni})_6\text{Sn}_5$ intermetallikus vegyület-fázis forrasztthatósági szempontból nagyon káros, illetve rontja a forraszt-kötés mechanikai tulajdonságait, ezért alkalmazása kerülendő [6].



2. ábra. A vizsgált ötvözetekről készült fénymikroszkópos felvételek (az eredeti nagyítás: 500x)

2. táblázat. A vizsgált ötvözetek mechanikai tulajdonságai

Ötvözet	$R_{p0,2}[\text{MPa}]$	$R_m [\text{MPa}]$	Nyúlás [%]	HV0,3
SAC305	$39,03 \pm 1,47$	$46,54 \pm 1,29$	$35,59 \pm 4,79$	$15,7 \pm 0,5$
SAC387+BiSbNi	$62,72 \pm 1,76$	$88,68 \pm 3,82$	$17,09 \pm 2,61$	$31,4 \pm 0,7$
SAC0307+BiSbNi	$52,26 \pm 1,05$	$75,62 \pm 4,48$	$7,48 \pm 2,64$	$32,2 \pm 0,7$
SAC0807+Bi	$44,34 \pm 0,95$	$65,07 \pm 0,64$	$12,50 \pm 2,42$	$30,0 \pm 2,1$

A 3. ábrán az egyes ötvözetekről készült pásztázó elektronmikroszkópos BSE (back-scattered electron, visszaszórt elektron) felvételek, valamint a mikroszondával elemzett fázisok, illetve szövetelemek kémiai összetétele látható. Ez alapján megállapítható, hogy a SAC305-ös ötvözet szövetszerkezete β -Sn szilárd oldatból, valamint ezüstöt és rezet tartalmazó, nagyon finom eutektikus szövetelemből áll.

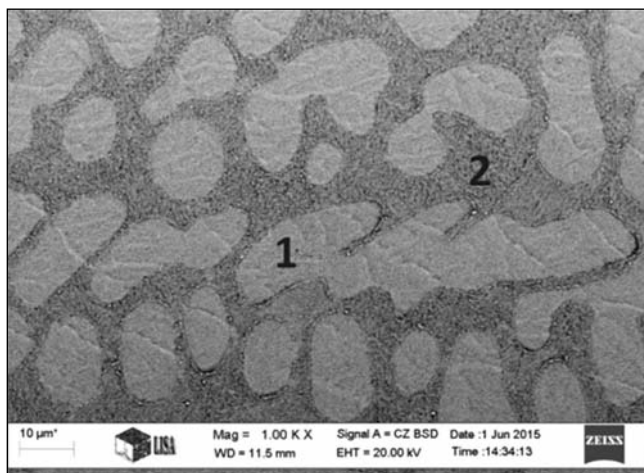
A további három vizsgált ötvözet esetén a 3 tömeg% Bi-tartalomnak köszönhetően a szövetben megjelenik a bizmutot is tartalmazó eutektikum. A (Bi) szilárd oldat az elektronmikroszkópos felvételeken jól látható, ami a nagy rendszáma miatt fehéren világító fázisként jelenik meg, azonban a fénymikroszkópos felvételeken már kevésbé különíthető el a többi fázistól. A nagyobb nagyítású SEM-felvételeken már jobban láthatók és elkülöníthetők az eutektikum egyes fázisai is, a β -Sn szilárd oldat,

az Ag_3Sn és a $(\text{Cu},\text{Ni})_6\text{Sn}_5$ vegyület-fázisok. Az ezüsttartalom jelentős csökkenésének hatására a SACX0307+BiSbNi ötvözet szövetszerkezetében nagyméretű primer $(\text{Cu},\text{Ni})_6\text{Sn}_5$ intermetallikus fázisok jelennek meg.

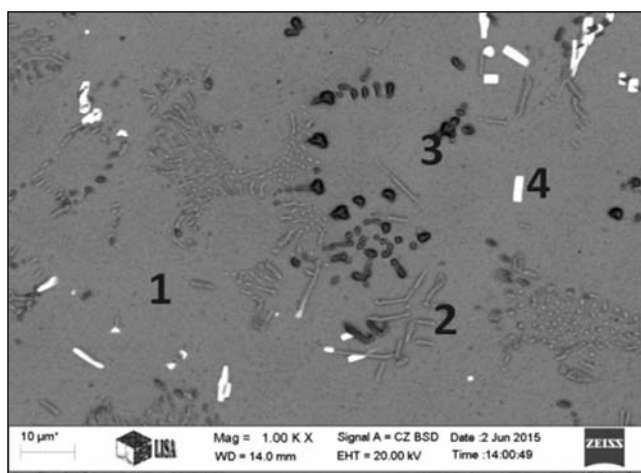
3.2. Röntgendiffrakciós mérési eredmények

A 4. ábrán láthatók a vizsgált ötvözetek diffraktogramjai. A diffraktogramokon a nagy intenzitásértékkel rendelkező jelöletlen reflexiók a β -Sn fázishoz tartoznak, míg az egyes vegyületfázisok reflexióit a nevükkel megjelölve azonosítottuk. Az Ag_3Sn fázis reflexiói 35, 38, 40, 52, 69, 75, 76°-nál jelennek meg; a Cu_6Sn_5 fázis csúcsai 43 és 60°-nál találhatók, míg a bizmutfázis reflexiói 28 és 38°-nál detektálhatóak.

Mindegyik ötvözetben azonosítottuk az Ag_3Sn és a Cu_6Sn_5 fázist, míg a Ni-tartalmú mintáknál a $(\text{Cu},\text{Ni})_6\text{Sn}_5$



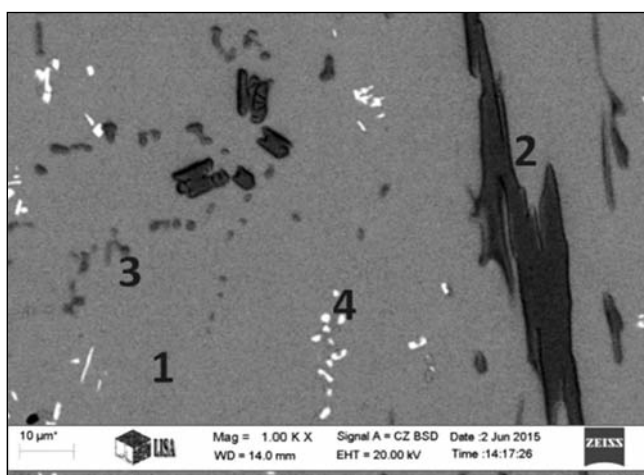
a) SAC305



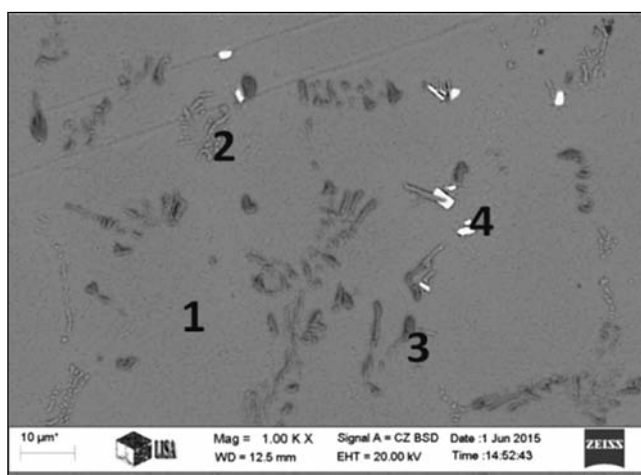
b) SAC387+BiSbNi

Elem	Elemzett fázis/szövetelem	
	1	2
	β -Sn	(β -Sn+ $\text{Ag}_3\text{Sn}+\text{Cu}_6\text{Sn}_5$)
Sn	99,50	87,85
Ag	0,50	7,48
Cu	-	4,67

Elem	Elemzett fázis			
	1	2	3	4
	β -Sn	Ag_3Sn	(Cu,Ni) $_6\text{Sn}_5$	(Bi)
Sn	95,05	30,93	51,58	15,13
Ag	0,25	66,33	-	-
Cu	-	2,74	41,19	-
Bi	2,89	-	-	84,87
Sb	1,81	-	-	-
Ni	-	-	7,23	-



c) SAC0307+BiSbNi



d) SAC0807+Bi

Elem	Elemzett fázis			
	1	2	3	4
	β -Sn	(Cu,Ni) $_6\text{Sn}_5$	(Bi)	
Sn	94,25	46,78	61,89	46
Cu	-	45,41	36,03	-
Bi	2,76	-	-	54
Sb	2,99	-	-	-
Ni	-	7,81	2,08	-

Elem	Elemzett fázis			
	1	2	3	4
	β -Sn	Ag_3Sn_5	Cu_6Sn_5	(Bi)
Sn	96,09	49,35	71,17	34,02
Ag	0,65	50,65	-	-
Cu	1,12	-	28,83	-
Bi	2,14	-	-	65,98

■ **3. ábra.** A vizsgált ötvözetekről készült SEM-felvételek és a mikroszondával elemzett fázisok, illetve szövetelemek kémiai összetétele atom%-ban

fázist. A SAC305 és a SAC387+BiSbNi ötvözetek esetén az Ag_3Sn fázis nagyobb intenzitású reflexiókat mutat,

míg a SAC0307+BiSbNi és a SAC0807+Bi ötvözetek esetében kisebbek a reflexiók. A Cu_6Sn_5 vegyü-

letfázis reflexiói mind a négy ötvözet esetében hasonló intenzitásúak. A bizmutfázis a SAC305 ötvözet kivételé-

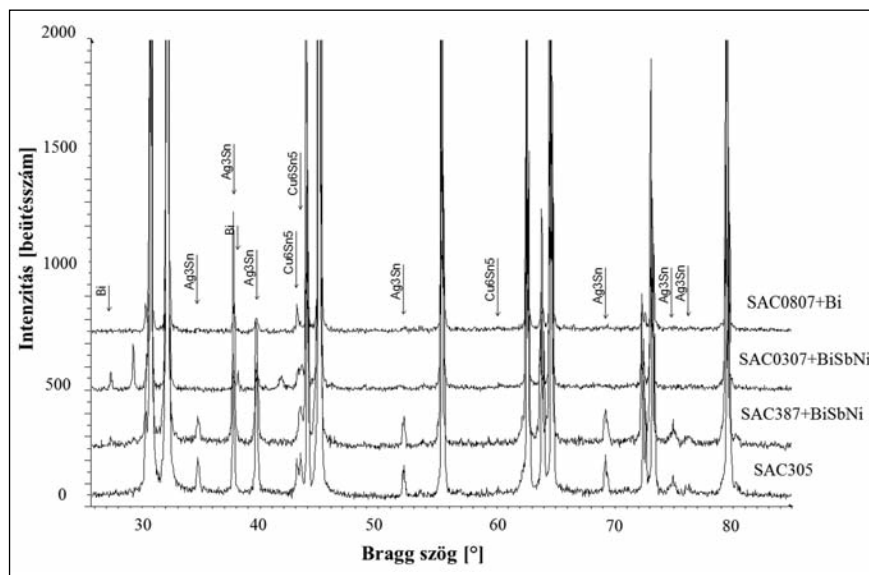
vel a vizsgált ötvözetekben jelen van. A 3% körüli ezüstartalmú SAC305 és az SAC387+BiSbNi ötvözet diffraktogramjain az egyes reflexiók hasonló jellegű intenzitásképet mutatnak. A SAC0307+BiSbNi ötvözet összetétele jelentősen eltér az említett két ötvözettől, amely a diffraktogram jellegének változásában is követhető: kisebb vegyüetfázis-reflexiók és megerősödő bizmutcsúcsok. A csökkentett ezüstartalmú SAC0307+BiSbNi és a SAC0807+Bi ötvözetek diffraktogramjain szintén hasonlóan alakul az egyes csúcsok intenzitásképe.

3.3. Mechanikai vizsgálati eredmények

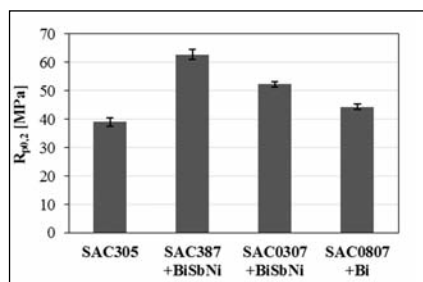
A 2. táblázat tartalmazza a szakítóvizsgálat és a keménységmérés eredményeit. Az 5–8. ábrákon látható az egyes ötvözetek folyáshatár, szakítószilárdság, nyúlás és keménység értékeinek változása. Az ötvözők hatására a SAC387+BiSbNi ötvözetnek kb. kétszer akkora a szakítószilárdsága, folyáshatára és a keménysége, mint a SAC305-ös ötvözetnek, nyúlása ugyanakkor fele annak. A csökkentett ezüstartalmú ötvözetek szakítószilárdság és folyáshatár értékei a SAC305 és a SAC387+BiSbNi ötvözetek eredményei között helyezkednek el, melyek közül a SAC0807+Bi hipoeutektikus ötvözet kisebb szakítószilárdság és folyáshatár értékekkel, valamint nagyobb nyúlással rendelkezik, mint a hiper-eutektikus SAC0307+BiSbNi ötvözet. A vizsgált ötvözetek közül a legkisebb nyúlása a SAC0307+BiSbNi ötvözetnek van (7. ábra).

A 9. ábrán a vizsgált ötvözetek egy-egy jellemző szakítódiagramja szerepel, amely jól szemlélteti a húzó igénybevétellel szembeni eltérő viselkedést. Az ezüstartalom nagymértékű csökkentése okozta negatív hatás jól látható az egyes forrasanyagok mechanikai tulajdonságainak változásában.

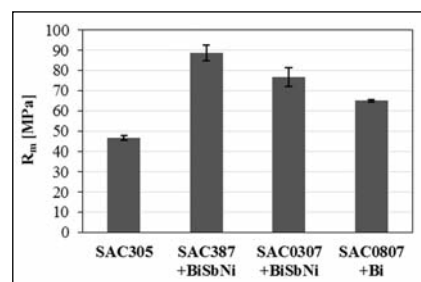
A keménységmérés eredményei a csökkentett ezüstartalmú ötvözetek esetén kb. azonosak a SAC387+BiSbNi ötvözetével, ami a szakítószilárdság és folyáshatár értékekhez képest azonban eltérést jelent.



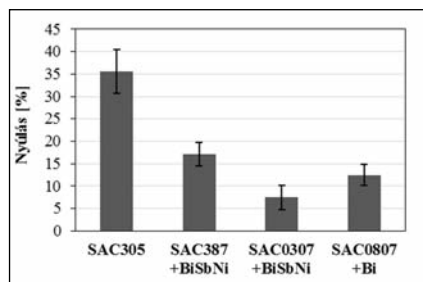
■ 4. ábra. A vizsgált ötvözetek diffraktogramjai



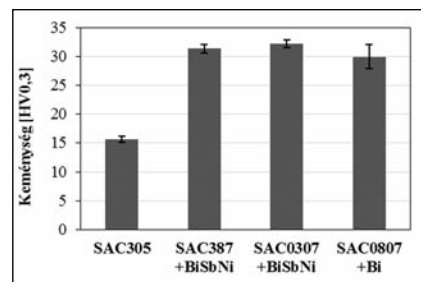
■ 5. ábra. A vizsgált ötvözetek folyáshatár értékei



■ 6. ábra. A vizsgált ötvözetek szakítószilárdság értékei



■ 7. ábra. A vizsgált ötvözetek nyúlás értékei



■ 8. ábra. A vizsgált ötvözetek keménység értékei

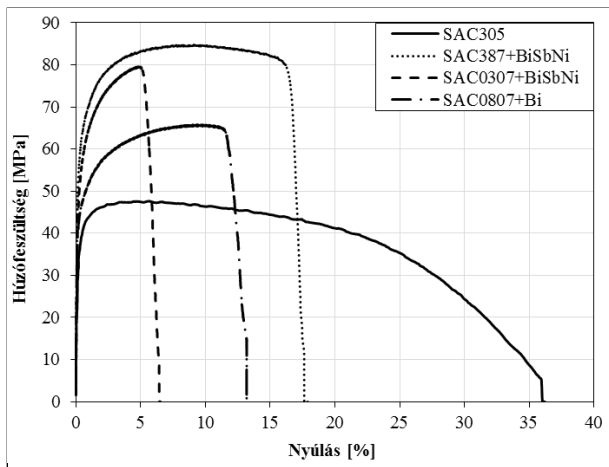
4. Összefoglalás

Kutatómunkánk során többalkotós, ólommentes Sn-Ag-Cu alapú forrasztó ötvözetek szövetszerkezeti és mechanikai tulajdonságait vizsgáltuk. Az elvégzett vizsgálatok alapján a következő megállapítások tehetők:

1. A szövetszerkezeti és a röntgen-diffrakciós vizsgálatok alapján elmondható, hogy a SAC305 és a SAC387+BiSbNi ötvözetekben a nagyobb ezüstartalom hatására nagyobb mennyiségű vegyüetfázis

alakul ki. A SAC305 ötvözet kivételével a bizmut szilárd oldat a szövetszerkezetben eutektikus fázisként jelenik meg. A SAC0307+BiSbNi ötvözetben primer formában is jelen van a $(\text{Cu,Ni})_6\text{Sn}_5$ vegyüetfázis. Ez forraszthatósági szempontból nagyon káros, illetve rontja a forraszkötés mechanikai tulajdonságait, ezért alkalmazásuk kerülendő.

2. A mechanikai vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a SAC387+BiSbNi ötvözetnek körülbelül két-



■ 9. ábra. A vizsgált ötvözetek jellemző szakítódíagramjai

szer akkora a szakítószilárdsága, folyáshatára és a keménysége, nyúlása pedig fele, mint a SAC305 ötvözetnek. A SAC0307+BiSbNi és a SAC0807+Bi ötvözetek szakítószilárdság értékei a SAC305 és a SAC387+BiSbNi ötvözetek eredményei között találhatók, míg a SAC0307+BiSbNi ötvözet nyúlása a legkisebb. Ezen különbségek a szövetszerkezetben is látható eltérésekből adódnak, illetve feltehetően a különböző vegyületfázisok és a bizmut együttes szilárdságnövelő hatásának tudhatók be.

Az elvégzett vizsgálatok alapján megállapítható, hogy ha nagy szilárdságú forrasztáshoz van szükségünk, akkor célszerű a SAC387+BiSbNi

költségsökkentés érhető el.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnénk köszönetet mondani mindenkinek, aki lehetővé tette munkánkat, segítette feladatunk végrehajtását. Külön köszönettel tartozunk Kissné dr. Svéda Máriának és dr. Sycheva Annának a pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatokért, valamint Mikó Tamásnak a szakítóvizsgálatok elvégzéséért. Továbbá köszönet illeti a Henkel Magyarország Kft.-t a forrasztóötvözetek biztosításáért.

A kutatómunka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 projekt eredményeire alapozva a TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0019 jelű projekt

(Innot) ötvözetet alkalmazni, ha azonban nagyobb nyúlású forrasztóanyag kívánatos, akkor ajánlott a SAC305 forrasztóötvözet használata. Abban az esetben, ha nem kritérium a nagy szilárdság vagy a nagymértékű nyúlás, akkor figyelembe véve a gazdasági szempontokat, a SAC0807+Bi forrasztóötvözet alkalmazásával jelentős

részeként – az Új Széchenyi Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Dr. Nagy Erzsébet publikációt megalkotó kutatása a TÁMOP 4.2.4.A/2-11-1-2012-0001 azonosító számú Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése országos program című kiemelt projekt keretében zajlott. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

Irodalom

- [1] <http://eur-lex.europa.eu>. (2015.04.20.)
- [2] H. Ma, J. C. Suhling: J. Mater Sci. 44 (2009) pp. 1141–1158.
- [3] J. H. L. Pang: Lead Free Solder, Mechanics and Reliability, Springer (2012)
- [4] H. Steen, B. Toleno: Development of a lead-free alloy for high-reliability, high-temperature applications, http://www.hlinstruments.com/RoHS_articles, (2010)
- [5] <http://elektro-net.hu/gyartasor/2075-sacx-valasz-az-uj-kihivasra-az-olommentes-forrasztas-teruleten> (2015.03.16.)
- [6] Gyenes A., Lanszki P., Nagy E., Gács Z.: BKL Kohászat, 147/2., pp. 12–17. (2014)

BAUMLI PÉTER

A keményforrasztás alapanyagai

Keményforrasztás alatt a 450 °C feletti, nem oldható, anyaggal záró kötéstípust értjük, amellyel jelentős mechanikai igénybevételnek kitett munkadarabokat rögzítenek egymáshoz. A kötés minősége nagy mértékben függ attól, hogy egy adott technológiában a megfelelő összetételű forrasztóanyagot használjuk-e. Forrasztókötéssel alakítanak ki oldhatatlan kötést fém-fém páros esetén, de számos helyen kerámia-kerámia, kerámia-fém anyagpár megfelelő kötése is biztosítható keményforrasztással. A forrasztástechnológiában legelterjedtebb keményforrasztóanyag a réz és ötvözetei, a nikkel és ötvözetei, valamint számos területen alkalmazást nyernek a tiszta ezüst és az ezüstalapú ötvözetek is, valamint az alumínium-, magnézium-, cink- vagy a titánalapú forrasztóötvözetek. Jelen összefoglaló munkámban a leggyakrabban alkalmazott forrasztóanyagokat ismertetem.

1. Bevezetés

Forrasztás a diffúziós kötés egyik fajtája. Forrasztás alatt olyan technológiát értünk, amely során szilárd anyagokat kötünk össze a hegesztéshez hasonlóan oldhatatlan kötéssel. A forrasztás során a kötés a forrasztóanyag megolvadásával, majd megszilárdulásával jön létre. A forrasztandó szerkezeti elemek anyagai lehetnek azonosak, pl. acél-acél, de lehetnek különbözőek is, így acél-kerámia.

A forrasztási eljárásokat a forrasztóanyag olvadáspontja alapján két csoportba soroljuk, így beszélünk lágy- és keményforrasztásról. Lágyforrasztásnak nevezzük azt a forrasztási

eljárást, amelyet 450 °C alatt, keményforrasztásnak pedig azt, amelyet 450 °C felett lehet megvalósítani.

Lágyforrasztáshoz különböző ónalapú ötvözeteket használnak [1], melyeknek az olvadáspontja ötvözőtől függően 180–450 °C között változhat. A lágyforrasztást is megkülönböztetjük a forrasztóanyag olvadáspontja szerint, beszélhetünk kis hőmérsékletű és nagy hőmérsékletű lágyforrasztásról. Előbbihez tartoznak az ónalapú ötvözetek: Sn-Bi, Sn-Ag, Sn-Ag-Cu, utóbbihoz pedig pl. a Zn-Sn, Zn-In, Cu-Sn, Au-Si [2] ötvözetek. Keményforrasztáshoz legelterjedtebbek a Cu-, Ni-, Ag- és Al-alapú forrasztóötvözetek [3].

A forrasztástechnológia szempontjából az egyik kritikus kérdés a nedvesítés. Azaz, hogy a forrasztóanyag milyen mértékben képes elterülni a forrasztandó fém felületén. A nedvesítés mértéke meghatározza az adhéziót a forrasztóanyag és a szubsztrát (alkatrész) között. Az azonos kémiai kötással rendelkező anyagokról (pl. fémforrasztó-fém-szubsztrát) általánosan elmondhatjuk, hogy közöttük jó nedvesítés figyelhető meg [4], míg különböző kötésű anyagok esetén, így például karbon-fémolvadék (kovalens-fémes kötésű) között rossz nedvesítést tapasztalunk [5–8]. A keményforrasztáshoz használt fémek közül például a korrózióálló acélok felületét ellenálló oxidréteg borítja, amely a nedvesítésnek és így a forrasztásnak is akadályozója lehet [9]. Nagyobb forrasztási hőmérsékleten azonban a fémek felületén lévő oxidhártya már nem okoz problémát, mivel a fém felülete dezoxidálódik, így jó nedvesítést lehet elérni [10, 11].

2. Keményforrasztóanyag családok

2.1. Rézalapú forrasztóanyagok

Az egyik leggyakrabban használt keményforrasztóanyag a Cu, vagy a Cu ötvözetek. A rézalapú forrasztóanyagok között legelterjedtebbek a tiszta réz, a réz-cink és a réz-foszfor ötvözetek. A Cu és a Cu-Zn ötvözetet forrasztóanyagként hasonló körülmények között alkalmazzák vasalapú és nem-vasalapú ötvözetek forrasztására. A Cu-P ötvözetet elsősorban rézötvözetek, esetleg ezüst-, volfrám, vagy mo-

libdénötvözetek forrasztására használják [3]. De tiszta rezes acélok, valamint különleges fémötvözetek, mint például Ti-Ni alakemlékező ötvözetek forrasztásához is használnak [12]. A forrasztástechnológiában elterjedt rézalapú ötvözetek még a Cu-Ag [13], Cu-Si [14], Cu-15Ti-10Sn [15], Cu-Ti-Al-Si [16, 17], Cu-Mn-Sn [18]. Acélhoz nemcsak acélt lehet forrasztani rézzel, illetve rézötvözzel, hanem más fémötvözetet, így pl. Ti-Al-ötvözetet [19], magnéziumötvözetet [25], valamint kerámiát [20] is.

Az acél a keményforrasztás hőmérsékletén dezoxidálódik, így valós szilárdfém-fémolvadék határfelület alakul ki a kezdeti szilárd oxid-fémolvadék határfelület helyett, és így javul a nedvesítés az acél és a forrasztóanyag között, ahogy ezt Kozlova és munkatársai is igazolták [21]. Azt is megállapították, hogy a Cu-Ag/acél rendszer nedvesítése két lépcsőben történik. Az oxidhártyával fedett korrózióálló acélfelületen a réz-ezüst olvadék kezdeti peremszöge 130° ($T=780$ °C), amely rossz nedvesítést jelent. A hőmérséklet emelésével az acél dezoxidálódik, és a Cu-Ag eutektikum peremszöge 30–60° közötti értéket vesz fel, ami már jó nedvesítésnek mondható; ez tulajdonképpen a nedvesítési folyamat első lépése. Nagyobb hőmérsékleten ($T=800-900$ °C), illetve hosszabb kontaktusidő (10-20 perc) elteltével a Cu-Ag olvadék az acél egy részét elkezd beoldani, krátert alakítva ki a szubsztrátban. Ebben a második lépcsőben éri el a Cu-Ag forrasztóanyag az egyensúlyi peremszögét, 10-30° közötti értékkel.

A réz forrasztóötvözetek között kedveltek a Cu-Mn-Sn ötvözetek, amelyek kiválóan alkalmasak lágyacélok forrasztására [18, 22]. A Cu-Mn-Sn ötvözetek további elemekkel, így cériummal és nikkellel ötvözhetőek a határfelületi tulajdonságok javítása érdekében. Ahogy a lágyforrasztók esetében a ritkaföldfémek javítják a forrasztóötvözet nedvesítési tulajdonságait [23, 24], úgy a keményforrasztóötvözetek tulajdonságait is javítja például a Ce [18]. Az 1 tömeg% Ce-t tartalmazó Cu-Mn-Sn-Ce ötvözet nedvesítési tulajdonságai jelentősen javulnak a Cu-Mn-Sn ötvözetéhez képest. A Ce-tartalmú forrasztóanyag területei tulajdonsága 32%-kal növekszik.

A Ce nedvesítésjavító hatása abban rejlik, hogy ennek az elemnek nagy az affinitása az oxigénhez, így elősegíti az acél felületének dezoxidálását.

2.2. Nikkelalapú forrasztóanyagok

A nikkelalapú forrasztóanyagok közül a legtöbbet használt, valamint leginkább vizsgált ötvözetek a Ni-Si-B [26], Ni-Cr-B, Ni-Cr-Si, Ni-P [27], Ni-Cr-Si-B [28, 29], Ni-B-Cr-Fe-Si [30]. A nikkelötvözetek általánosan használt forrasztóanyagok korrózióállóságuk, valamint hőállóképességük miatt [3].

A nikkel forrasztóanyagot paszta vagy lemez formájában használják, ez utóbbira egy újonnan kifejlesztett példa a réteges Ni-NiCr kompozit [31]. Ennek a kompozit forrasztóanyagnak a központi magja a Ni-Cr ötvözetből készített lemez, amelyet tiszta nikkel-lemezekkel fednek [31]. A fedőréteg jó hőálló és korrózióálló tulajdonsággal rendelkezik, míg a Ni-Cr központi magot kisebb sűrűség és nagyobb szilárdság jellemzi. Így a Ni-NiCr réteges kompozit egyesíti a fenti két réteg jó tulajdonságát, kis sűrűségű és jól ellenáll a nagy hőmérsékletnek, illetve a korrózió környezetnek [32].

Wu és munkatársai [31] a Ni-Cr-Si-B amorf fóliával készített kompozit forrasztóanyagot 18Cr-8Ni acél forrasztására használták, 1080 °C-on, vákuumban. Ni_3B , $(Fe,Cr)B$, valamint az acélhoz közel, az acélforrasztóanyag határfelületén Ni_2Cr fázisokat azonosítottak. A kompozit forrasztóanyaggal kiváló kötést kaptak. A Ni-rétegben Ni_3B vált ki, közel a forrasztott részhez, és egy 10 μm -es vastagságú, $(Fe, Cr)B$ szemcséket tartalmazó réteg pedig az acélban.

A forrasztókötésben megjelenő kiválások nem minden esetben kedvezőek. Ni-B-Si forrasztóanyag esetén például, ha nem megfelelően nagy a forrasztási hőmérséklet, bór- és szilíciumkiválások jönnek létre, amelyek a kötés erősségét rontják [33].

Auszenites acél (1.4301) és nikkelalapú szuperötvözet nikkelalapú forrasztóanyaggal történő forrasztását vizsgálva azt tapasztalhatjuk, hogy a forrasztás hőmérsékletét emelve, a forrasztott kötés szakítószilárdsága növekszik. Ennek az a magyarázata, hogy az eutektikus fázis mennyisége

a hőmérséklet emelésének hatására csökken és növekszik a szilárd oldat mennyisége [33].

A keményforrasztáshoz használt ötvözeteket, így például a nikkelalapú forrasztanyagot, titánalapú forrasztötvözetet, valamint Ag-5Pd ötvözetet összehasonlíthatjuk aszerint, hogy az adott forrasztanyag a forrasztandó fémet milyen mértékben nedvesíti, illetve hogy a forrasztanyag-olvadék diffundál-e a szubsztrátba, azaz milyen minőségű forraszkötés létrehozására alkalmasak. Ezek alapján az ausztenites acél (STS304) és titánötvözet anyagpár forrasztásakor a legjobb forraszkötést a nikkelalapú ötvözetekkel lehet elérni, legrosszabbat pedig az Ag-5Pd ötvözzel [34].

2.3. Ezüstalapú forrasztanyagok

Az ezüstalapú ötvözetek alkalmasak vas- és nemvasalapú ötvözetek forrasztásához, kivéve az alumínium- és a magnéziumötvözeteket [3].

Acélok kerámiákhoz, illetve intermetallikus vegyületekhez történő forrasztásához alkalmas ötvözet az Ag-Cu-Zn [35, 36]. Az Ag-Cu-Ti forrasztötvözetfémek intermetallikus fázishoz történő forrasztására [37] vagy kerámia-kerámia anyagpár forrasztására is [38] alkalmas. Fém-fém anyagpár forrasztását, így például a titánnak rézhez való forrasztását Ag-Cu ötvözzel hajtották végre [39].

A fémeket borító oxidhártya az ezüstötvözzel történő forrasztás esetén is problémát jelenthet. *Tashi* és munkatársai Ti-6Al-4V ötvözet és ausztenites acél (1.4404) forrasztathatóságát vizsgálva megállapították, hogy az ausztenites acélt az alkalmazott Ag-Cu-Zn ötvözet kevésbé nedvesíti, mint a Ti-6Al-4V ötvözetet [36]. Az acél rossz nedvesítését azzal magyarázták, hogy az ausztenites acél felületét vékony króm-oxid réteg fedi. A forrasztandó acél felületének dezoxidálását az Ag-alapú forrasztanyaghoz adagolt ritkaföldfémek, így például a Ce elősegítheti. Ag-Cu-Ti ötvözet nedvesítését vizsgálva acélon azt tapasztalhatjuk, hogy a forrasztanyag nedvesítése már 0,25 tömeg% Ce hozzáadásával jelentősen javítható. Azonban a forrasztanyag Ce-tartalmát tovább növelve az ötvözet nedvesítési tulajdonsága

az acélon romlani kezd. A nedvesítési tulajdonságok romlása pedig maga után vonja a mechanikai tulajdonságok romlását is [40].

Liu és társai [41] cirkónium és korrózióálló acél forrasztását vizsgálták Ag-Cu-TiH₂ forrasztanyag felhasználásával. Megállapították, hogy a forrasztás hőmérséklete nagyobb mértékben befolyásolta a kötés erősségét, mint a hőtartási idő.

2.4. Alumíniumalapú forrasztanyagok

Alumíniumalapú forrasztanyagokat, így az Al-Si ötvözeteket [3, 44], valamint Al-Si-20Cu ötvözeteket [42, 43] alumínium és alumíniumötvözetek forrasztására használják elsősorban.

Az Al-Si-20Cu forrasztanyag mechanikai tulajdonságai, valamint a nedvesítése szilárd alumíniumfelületen javítható a forrasztötvözethez adagolt ónnal, amely a forrasztanyag olvadáspontját is csökkenti [42]. Az Al-Cu ötvözet alkalmas acél, nikkel és egyéb ötvözetek forrasztására is [45].

3Si-4N ötvözet különböző fémekkel (például Ti, Nb, Ni, illetve acél) való összeforrasztása során Al-Cu forrasztanyagot használhatunk. Ebben az esetben a kis (1-10 tömeg%) réztartalom az Al-Cu ötvözet nedvesítési tulajdonságait kis mértékben javítja a 3Si-4N szubsztráton, a tiszta alumíniumhoz képest ($\Theta_{Al}=50^\circ$). A 10 tömeg% Cu-Al olvadék peremszöge 3Si-4N szubsztráton 45° . Mintegy 10 tömeg% Cu-tartalomtól kezdődően a Cu-tartalom emelésével a forrasztanyag nedvesítési tulajdonságai közel lineárisan romlanak, míg el nem éri a tiszta réz peremszögértékét a 3Si-4N szubsztráton ($\Theta_{Cu}=130^\circ$) [45].

Az alumíniumlemez alumíniumlemezhez történő forrasztása általában Al-Si forrasztanyaggal történik [44], ami kivitelezhető úgy is, hogy a forrasztanyag a megfelelő összetételű Al-Si ötvözet, de a forrasztás és a hegesztés határán lévő módszerrel is. Ez utóbbi esetben a forrasztandó részekre Si-szemcsékből és folyasztószerből álló keveréket visznek fel. A forrasztás hőmérsékletén a forrasztandó alumínium egy részéből és a Si-szemcsékből eutektikum keletkezik, amely kisebb olvadáspontjával létrehozza a forrasztott kötetet [46].

A fentiekben részletezett forraszt-

anyagokon kívül létezik egy sor, kevésbé használatos, vagy éppen különleges igényeket is kielégítő forrasztötvözet. Tipikus példák erre: magnéziumalapú forrasztok magnéziumötvözetek forrasztására, vagy a titánötvözetek forrasztásához használt titánalapú forrasztanyagok [47], valamint erre a célra cinkalapú ötvözetek is léteznek [48]. Találunk a szakirodalomban aranyalapú forrasztanyagcsaládot is, amelyet nemesfémek forrasztásán túl vas-, nikkel- és kobaltötvözetek forrasztására használnak, ahol fontos az oxidáció- és a korrózióállóság [3].

3. Összegzés

Összefoglaló cikkemben a keményforrasztáshoz használt forrasztötvözeteket mutattam be. A keményforrasztást az ipar számos területén alkalmazzzák, ahol fém-fém anyagpárokat (pl. autóhűtők), fém-kerámia, vagy kerámia-kerámia anyagpárokat kell nem oldható kötéssel rögzíteni. A keményforrasztás során a forrasztandó fém nem olvad meg, csak a forrasztanyag. Forrasztás során a kisebb hőmérsékletnek köszönhetően kisebbek lesznek a feszültségek, elhúzóadások, mintha a kötetet hegesztéssel alakították volna ki. Természetesen a keményforrasztás során azzal is számolnunk kell, hogy a forrasztás helyén az anyag korrózióra érzékenyebb lesz, és maga a forrasztott kötés is kisebb szilárdságú, mint a forrasztandó alapanyag.

Forrasztáshoz a leggyakrabban alkalmazott anyagok a réz- és a nikkelalapú ötvözetek, de felhasználási területtől függően elterjedtek az ezüst-, arany-, cink-, titán-, magnéziumalapú forrasztötvözetek is. Ezek a forrasztanyagok paszták, lemezek, huzalok formájában készülnek és kerülnek felhasználásra. A keményforrasztás esetében szükséges a forrasztanyag védelme az oxidációtól különböző folyasztószerekkel, vagy vákuum, illetve inert gáz alkalmazásával.

A keményforrasztás minősítésével két szabvány foglalkozik (az MSZ EN ISO 18279:2003:Keményforrasztás. A keményforrasztott kötésekben lévő eltérések, és az EN ISO 12797:2005 A forrasztott kötések roncsolásos vizsgálatáról). Jelen összefoglaló

munkában nem tértem ki ezen vizsgálati és minősítő módszerekre. A kötés megfelelőségét a nedvesítési tulajdonságokon keresztül véleményeztem, ahogy az az irodalomban is előfordult.

Köszönetnyilvánítás

A cikkben ismertetett kutatómunka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 projekt eredményeire alapozva a TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0019 jelű projekt részeként – az Új Széchenyi Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg. A szerző kutatási tevékenységét a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatásával végzi.

Irodalom

- [1] Anyagok Világa (Materials World) 1 (2015) 24–34.
- [2] K. Suganuma, S.-J. Kim, K.-S. Kim: JOM, 61 (1) (2009) 64–72.
- [3] G. M. Slaughter, D. A. Canonico: Nuclear Engineering and Design 17 (1971) 181–203.
- [4] O. Kozlova, R. Voytovych, P. Prot-senko, N. Eustathopoulos: Journal of Materials Science 45 (2010) 2099–2105.
- [5] Z. Weltsch, J. Hlinka, A. Lovas: In: Stanislaw Borkowski, Dorota Klimecka-Tatar (szerk.), QUALITY IMPROVEMENT OF CONSTRUCTION MATERIALS. Konferencia helye, ideje: Wawrzkowizna, Lengyelország, 2014. 05. 21.–2014. 05. 23. Czestochowa: Oficyna Wydawnicza Stowarzyszenia Menedzerów Jakosci i Produkcji (SMJiP), 2014. pp. 54–65. (ISBN:978-83-63978-12-9)
- [6] J. Hlinka, L. Rédey, Z. Weltsch: In: Stanislaw Borkowski, Dorota Klimecka-Tatar (szerk.), QUALITY IMPROVEMENT OF CONSTRUCTION MATERIALS. Konferencia helye, ideje: Wawrzkowizna, Lengyelország, 2014. 05. 21.–2014. 05. 23. Czestochowa: Oficyna Wydawnicza Stowarzyszenia Menedzerów Jakosci i Produkcji (SMJiP), 2014. pp. 66–74. (ISBN: 978-83-63978-12-9)
- [7] Z. Weltsch, J. Hlinka, E. Kókai: World Academy of Science Engineering and Technology, 9:(3) (2015). 342–345.
- [8] J. Hlinka, Z. Weltsch: 30th International Colloquium – Advanced Manufacturing and Repair Technologies in Vehicle Industry, Visegrad, Hungary 2013. 05. 22–24., pp.13–16, editor: J. Takacs, T. Markovits, B. Vehovszky (ISBN: 978-963-313-079-7)
- [9] N. Eustathopoulos, M. Nicholas, B. Drevet: Pergamon Materials Series, vol. 3, Pergamon, Oxford, 1999.
- [10] P. Prot-senko, A. Terlain, M. Jeymond, N. Eustathopoulos: Journal of Nuclear Materials 307–311 (2002) 1396–1399.
- [11] P. Prot-senko, N. Eustathopoulos: Journal of Materials Science 40 (2005) 2383–2387.
- [12] T.Y. Yang, R. K. Shiue, S. K. Wu: Intermetallics 12 (2004) 1285–1292.
- [13] M. Hirota: Trans. JIM 9 (1968) 97–103.
- [14] A. Koltsov, N. Bailly, L. Cretteur: Journal of Materials Science 45 (2010) 2118–2125.
- [15] S.-F. Huang, H.-L. Tsai, S.-T. Lin: Materials Transactions 43 (10) (2002) 2604–2608.
- [16] M. Singh, T. P. Shpargel, G. N. Morscher, R. Asthana: Materials Science and Engineering A, 412–413 (2005) 123–128.
- [17] B. Schwarz, P. Worbs, C. Eisenmenger-Sittner: Journal of Physics: Conference Series 100 (2008) 082044
- [18] S. K. Chatterjee, Z. Mingxi, A. C. Chilton: Welding Journal 71(5) (1991) 118–122.
- [19] H. Dong, Zhonglin Yang, Zengrui Wang, Dewei Deng, Chuang Dong: Journal of Materials Science & Technology (2014), <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmst.2014.04.003>
- [20] V. Bissig, M. Galli, J. Janczak-Rusch: Advanced Engineering Materials 8 (3) (2006) 191–196.
- [21] O. Kozlova, R. Voytovych, M.-F. Devismes, N. Eustathopoulos: Materials Science and Engineering A 495 (2008) 96–101.
- [22] V. R. Miller, W. L. Falke: Report of Investigations 8783, United States Department of the Interior, 1983
- [23] D. Q. Yu, J. Zhao, L. Wang: Journal of Alloys and Compounds 376 (2004) 170–175.
- [24] Bo-In Noh, Jung-Hyun Choi, Jeong-Won Yoon, Seung-Boo Jung: Journal of Alloys and Compounds 499 (2010) 154–159.
- [25] X.-J. Yuan, G.-M. Sheng, J. Luo, J. Li: Transactions of Nonferrous Metals Society of China 23 (2013) 599–604.
- [26] X. Yuan, C. Y. Kang, M. B. Kim: Materials Characterization 60 (9) (2009) 923–931.
- [27] R. K. Shiue, S. K. Wu, C. M. Hung: Metallurgical And Materials Transactions A, 33A (2002) 1765–1773.
- [28] X. Wu, R. S. Chandel, H. Li, H. P. Seow, S. Wu: Journal of Materials Processing Technology 104 (1–2) (2000) 34–43.
- [29] A. Rabinkin, E. Wenski, A. Ribaud: Welding Journal, 77 (1998) 66s–75s.
- [30] C. L. Ou, D. W. Liaw, Y. C. Du, R. K. Shiue: Journal of Materials Science 41 (2006) 6353–6361.
- [31] N. Wu, Y. Li, J. Wang: Vacuum 86 (2012) 2059–2063.
- [32] J.-K. Kim, T.-X. Yu: Journal of Materials Processing Technology 63 (1997) 33–42.
- [33] X. Wu, R. S. Chandel, H. P. Seow, H. Li: Journal of Materials Processing Technology 113 (2001) 215–22.1
- [34] T. Chung, J. Kim, J. Bang, B. Rhee, D. Nam: Transactions of Nonferrous Metals Society of China 22 (2012) 639–644.
- [35] L. X. Zhang, J. C. Feng, P. He: Materials Science and Engineering A 428 (2006) 24–33.
- [36] R. S. Tashi, S. A. A. Mousavi, M. M. Atabaki: Materials and Design 54 (2014) 161–167.
- [37] P. He, J. C. Feng, W. Xu: Materials Science and Engineering A 418 (2006) 53–60.
- [38] T. Yano, H. Suematsu, T. Iseki: Journal of Materials Science, 23 (9) (1988) 3362–3366.
- [39] R. K. Shiue, S. K. Wu, C. H. Chan: Journal of Alloys and Compounds 372 (2004) 148–157.
- [40] C. Yang, J. Xu, W. Ding, Z. Chen, Y. Fu: Journal of Rare Earths, 27 (6) (2009), p. 1051–1055.
- [41] G. W. Liu, G. J. Qiao, H. J. Wang, J. F. Yang, T. J. Lu: Journal of the European Ceramic Society 28 (2008) 2701–2708.
- [42] L. C. Tsao, T. C. Tsai, C. S. Wu, T. H. Chuang: Journal of Materials Engineering and Performance 10 (2001) 705–709.
- [43] S. S. Wang, M. D. Cheng, L. C. Tsao: T. H. Chuang, Materials Characterization 47 (2001) 401–409.
- [44] R. K. Shiue, S. K. Wu, S. Y. Chen: Intermetallics 11 (2003) 661–671.
- [45] M. Naka, M. Kubo, I. Okamoto: Transaction of JWRI, 19(1) (1990) 33–38.
- [46] R. S. Timsit, B. J. Janeway: Welding Journal, (1994) 119–128.
- [47] R. K. Shiue, S. K. Wu, Y. T. Chen, C. Y. Shiue: Intermetallics 16 (2008) 1083–1089.[48]
- [48] J. G. Lee, J. K. Lee, S. M. Hong, M. K. Lee, C. K. Rhee: Journal of Materials Science 45 (2010) 6837–6840.

Ólommentes forrasztási ónhulladék teljes feldolgozása rugalmas és környezetbarát módszerrel

Az ólommentes forrasztanyagok között legelterjedtebb, SAC-típusú Ag- és Cu-tartalmú óntüzetek használata során keletkező jelentős mennyiségű hulladék egy nedves közegű elektrolitos raffináláson alapuló többlépcsős módszerrel gyakorlatilag maradéktalanul feldolgozható. Az első lépés a forrasztókádák felületéről leszedett heterogén hulladékanyag olvasztása, amely a hűtött kokillákba öntött anód előállításához szolgáltatja az olvadékokat. Az itt elválasztott oxidos felzék karbotermikus redukcióval forró sósavban oldható finom eloszlású önt eredményez. Ennek a hidrometallurgiai feldolgozása az ón-klorid-sósav összetételű elektrolitoldat előállításához felhasználható. A megfelelően szabályozott elektrolitos raffinálással nagy tisztaságú ón nyerhető a katódon, miközben az ezüst- és a réztartalom az anód felületén képződő anódiszapban dúsul. Az iszap Sn-, Cu- és Ag-tartalma egymást követő forró sósavas és salétromsavas kioldási technikával szelektíven oldatba vihető. A sósavas oldatból a réz cementálással történő eltávolítása után tiszta ón választható le, majd a salétromsavas oldatból az ezüst kloridos csapadékként kinyerhető. Ez a laboratóriumi szinten kifejlesztett feldolgozó eljárás akár kis méretekben is gazdaságosan megvalósítható, hiszen nem igényel különleges berendezéseket és drága anyagokat, illetve számottevő elektromos energiát. Az elenyésző mennyiségű technológiai maradvány gyakorlatilag ón-dioxid, ami az olvasztási lépéshez visszajá-ratható.

1. Bevezetés

Az EU-direktívák kötelezik az elektronikai gyártókat az ólommentes forrasztanyagok használatára. Ezek között a SAC-típusú, ezüstöt és rézet tartalmazó óntüzetek váltak a legelterjedtebbé [1–4]. A használat során azonban a réz oldódik a forrasztoladékokban, valamint a felszínen oxidos felzék is képződik. Emiatt rendszeresen nagy fémtartalommal távolítják el a felzékot, a fürdőt pedig tiszta ónnal, illetve SnAg ötvözzel frissítik. A Magyarországon is évente kb. ezer tonna mennyiségben képződő nagy fémtartalmú salakos ónhulladék [5] az ón és az ezüst magas ára miatt igen értékes. Ezt a hulladékgyűjtő és kereskedőhálózat értékesíti jelenleg külföldön. A hazai megfelelő kohászati kapacitás hiányában csakis egy volumenében illeszkedő és speciálisan erre a hulladéokra kifejlesztett kisüzemi technológia lehet reális lehetőség a helyben történő feldolgozásra, hasznosításra. A Miskolci Egyetem

Metallurgiai Intézetében végzett korábbi laboratóriumi kísérletek eredményeit ismertető közleményeink [6–27] részletesen mutatták be az itt összegzett technológia egyes lépéseinek vizsgálatát, valamint a folyamatok jellemzőit.

Az elektronikai üzemektől összegyűjtött önfelzékot részlegesen megolvastva, a döntő részt képviselő fémes frakció olvadékból anódok önthetőek, melyek öntartalma sósavas oldatban történő elektrolízissel a katódon tiszta állapotban kinyerhető [6–9]. Az olvasztás során gondosan eltávolított szekunder felzék fő alkotója az ón-dioxid, ami redukáló eljárással sósavban oldható fémes ónná alakítható. Így végül az elektrolitoldat előállításánál hasznosítható.

Az elektrolitos raffinálást kb. 10 g/dm³ Sn- és 1 mol/dm³ HCl-tartalmú oldattal és 100–1000 A/m² áramsűrűséggel célszerű végezni, ahogyan ezt a körülmények és a folyamatok leírását tartalmazó korábbi alapvető publikációk bemutatták [6–9]. A ka-

pott katódont mosás után közvetlenül lehet olvasztani, amennyiben – már létező olvadékba merítve – az oxidáció elkerülhető, a kihozatal közel 100%, valamint a kapott ón tisztasága – megfelelő elektrolízis paraméterek alkalmazása esetén – a 99,99%-ot is meghaladhatja. Az ón anód- és katódfolyamatai a savas oldatban azonban jelentős kihívásokat is rejtenek, amelyek tisztázására potenciodynamikus kísérleteket is folytattunk [14, 17, 22]. A polarizációs görbék alapján leszűrhető volt a diffúziós folyamatok gátoltsága és az elektronátlépési folyamatok viszonylagos gyorsasága miatt alig elkerülhető kedvezőtlen katódfém-morfológia. A katódos önleválás savas oldatokból – különleges összetevők mellőzése esetén – még a szokásos inhibitorok adagolása, vagy periodikus árammegfordítás (PCR), illetve különleges mikro-impulzusáramok alkalmazása mellett is rendezetlenül laza dendrites jellegű [7, 8, 11]. A nehézség áthidalására kifejlesztettünk egy elektromechanikus elven működő cellát, amely biztosítja a hosszabb távon is gondozásmentes üzemelést a katód-fém szerkezetének a periodikus tömörítésével [10, 20, 28].

Az anód szelektív oldódása megfelelő paraméterek beállítása esetén biztosítható. Így az alapfémekben oldott, illetve intermetallikus formában jelen lévő ezüst és réz a keletkező, és az anód felületén megtartott iszaprétegben koncentrálható. Az eltávolított anódiszap értékes fémtartalmának a szelektív kinyerése hidrometallurgiai módszerrel lehetséges [27], ami egymást követő forró sósavas és salétromsavas kioldási technikán alapul. Az optimális körülmények között kapott ón- és réztartalmú sósavas oldatból a réz eltávolítása után tiszta ón választható le, míg a salétromsavas oldatból az ezüst fémes állapotban vagy szintén értékes kloridos csapadék formájában kinyerhető. A

hidrometallurgiai feldolgozás minimális mennyiségű ón-dioxidos maradványa a felzék karbotermikus redukciójához járatható. A redukció utáni sósavas kioldás az ón nagy részét elektrolízissel kinyerhetővé alakítja [24], míg a maradvány az olvasztáshoz járatható vissza. Így a fő lépés, az elektrolitos raffinálás összes mellékterméke is feldolgozható a kisüzemi megvalósíthatóság feltételei mellett is.

2. Az eljárás jellemzői és megvalósítása

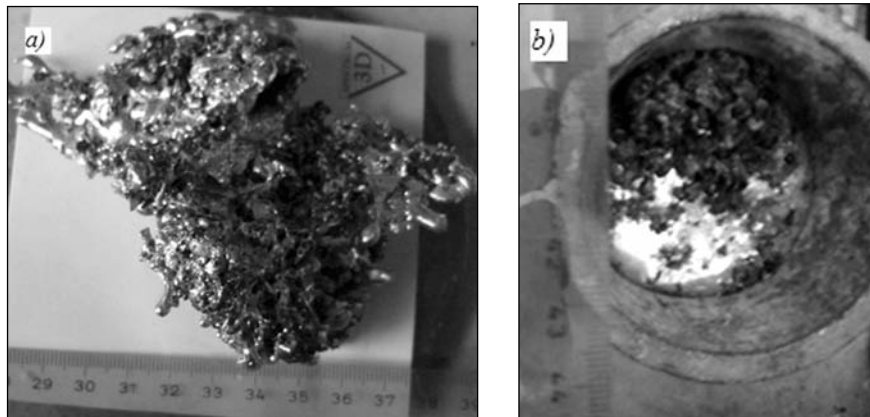
A forrasztási hulladék olvasztása végezhető egy viszonylag egyszerű ellenállás-fűtésű téglés kemencében. Az elektronikai üzemből származó nagy fémtartalmú nyersanyagot és beolvasztott folyékony és felzékfázisokat, valamint az öntött anódot és a katód alaplemezt az 1. ábra mutatja.

A fémolvadékból a 2. ábrán látható módon, hűtött kokillába öntve kapható az anódtömb. Ugyanígy történik a vékonyabb és tiszta önből készített katód alaplemez öntése.

A gyakorlatban előforduló szennyezőelemek eltávolítási hatásfokát (h_{Me}) a kiinduló anódtövezetre és a kapott katódfémre vonatkozó koncentrációk viszonyával lehet kifejezni:

$$h_{Me} = \frac{c_{Sz,an}}{c_{Sz,ka}} \quad (1)$$

ahol $c_{Sz,an}$ és $c_{Sz,ka}$ a szennyezőelem (Sz) koncentrációja a szennyes anód-, illetve a tisztított katódfémekben. A kifejlesztett módszer szerint 1 M HCl – 10 g/L Sn-tartalmú, adalékmentes oldat és kb. 1000 A/m² értékű egyen-, illetve periodikusan megfordított (PCR) áramsűrűség alkalmazható az elektrolitos raffinálásra. Egy közönséges, katódtömörítés nélküli cellában szűrőpapír anódszákkal és 20/1 normál/fordított irányú periódus időarányú árammal végzett több órás folyamatos üzemelés után az 1. táblázat eltávolítási hatásfokai adódtak egy viszonylag tiszta,



1. ábra. A forrasztási hulladék (a) és az olvasztással kapott anyagok (b) képe [24]

1. táblázat. Enyhén szennyezett SnBiAg-típusú ötvözet elektrolitos raffinálásánál elért eltávolítási hatásfokok

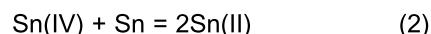
Szennyező	Ag	Bi	Cu	Ni	Pb	Össz.
Anódos koncentráció, %	0,49	2,227	0,328	0,0075	0,0153	0,78
Katódos koncentráció, %	0,0063	0,0135	0,0060	0,0003	0,0022	0,025
Eltávolítási fok, h	78	165	63	27	7	31

bizmuttal és ezüsttel ötvözött nyersanyag feldolgozásakor. Ez a módszer az ezüst-, réz- és bizmuttartalmú forrasztóötvözet hulladékából 99,9% értéket is meghaladó tisztaságú önt képes termelni a katódon.

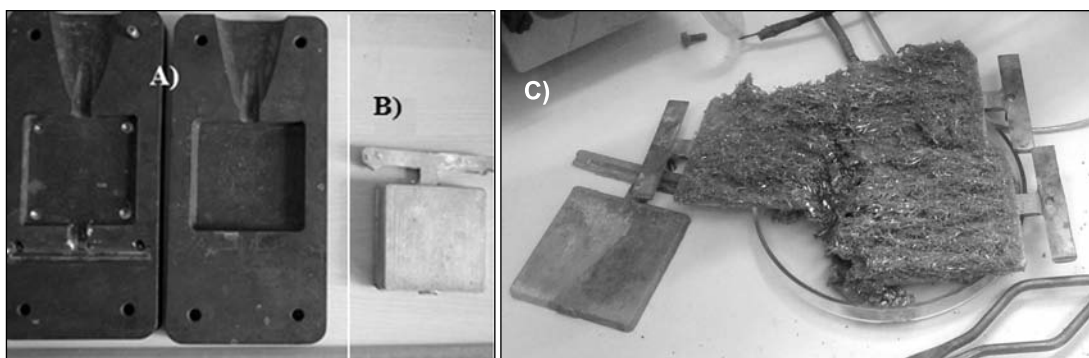
Az ón sósavas oldattal végrehajtott elektrolitos raffinálásában a 3. ábrán látható folyamatok a meghatározóak.

Megfelelő paraméter-beállítások esetén az oldott ón Sn(II) oxidációs állapotban van jelen. Azonban túl nagy anódos áramsűrűség mellett az Sn(IV) képződése is dominálhat. A kloridion-koncentráció – illetve annak negatív logaritmusaként kifejezett pCl^- -érték – valamint az elektródpotenciál függvényében a 4a ábra szemlélteti a sósavas ón-klorid oldatokban az egyensúlyi jellemzők alapján számított jellemző ionok fajtáit. Az elektrolit összetételére jellemző tarto-

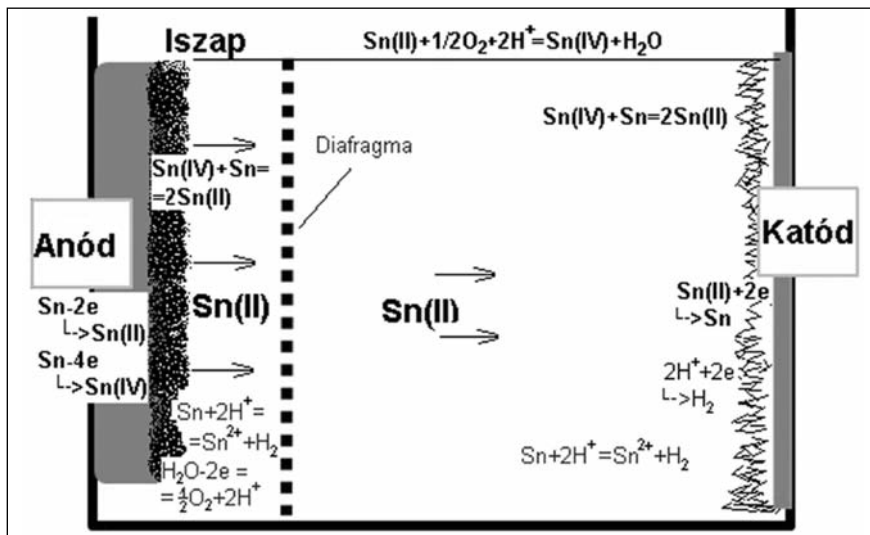
mányt szürke sáv jelzi. Ugyanakkor a 4b ábrán látható kísérleti eredmények szerint az anódos áramsűrűség növelésekor könnyen átveheti az Sn(IV) keletkezése az oldódásban a vezető szerepet. Amennyiben az anód felületén egy laza anódiszapréteg is létezik, amely fő alkotóját az egyenetlen oldódás miatt a felületről kipergő ónszemcsék jelentik, a



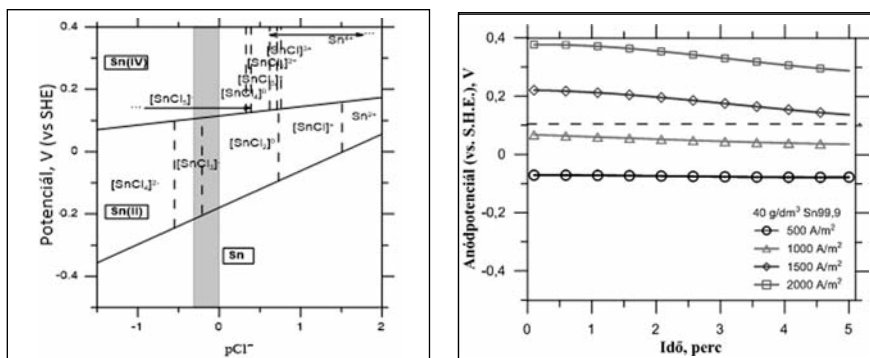
konproporcionálódási reakció képes a keletkező Sn(IV) ionokat még a katód felé történő transzportot megelőzően Sn(II) állapotba hozni. Így bruttó reakcióként az Sn(II) keletkezése válhat jellemzővé, ha a folyamat kinetikai feltételei is adódtak. Egyéb esetben a katódhoz kerülő Sn(IV) ionok a levált fém egy részének visz-



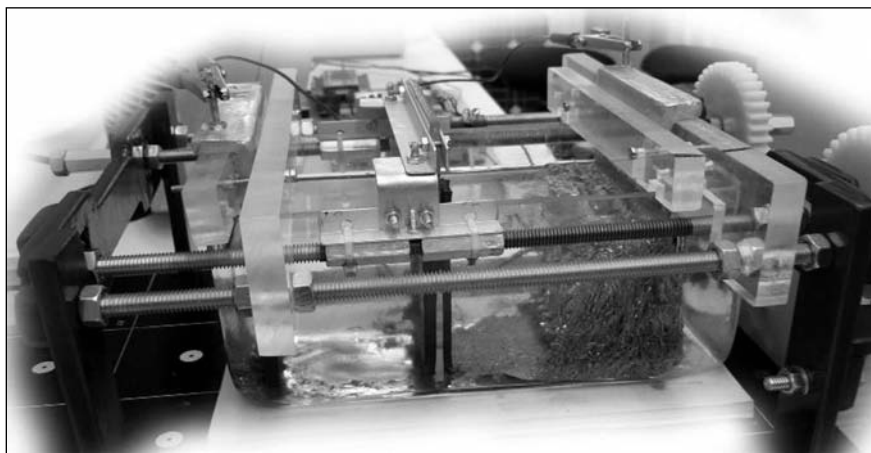
2. ábra. Az elektródok – A - kokilla, B - öntött anód, C - induló és kész katódok [26]



3. ábra. Az ón elektrolitós raffinálása során lezajló fő folyamatok



4. ábra. A kialakuló ónionok egyensúlya (a) a potenciál és a kloridion-koncentráció függvényében, és az anódpotenciál (b) az áramsűrűség szerint [25]



5. ábra. Az elektromechanikus raffináló cella laboratóriumi prototípusa [28]

szaoadásából eredő áramhatásfokcsökkenést okozhatnak. Még kedvezőtlenebb következmény lenne a kis savkoncentráció esetén várható Sn(IV) hidrolízis, ami az oldat bomlásával, az ón precipitációjával járna. Mindennek az elkerülése miatt fontos az anód megfelelő állapotát és a meg-

felelő anódos folyamatokat biztosítani. A 4. ábra szerint 1500 A/m² anódos áramsűrűség esetén már alapvetően az Sn(IV) formában történő anódos oldódási folyamat válhat meghatározóvá. Ugyanakkor a katódon lejátszódó folyamatok is erősen függenek az áramsűrűségtől. A laza dendrites

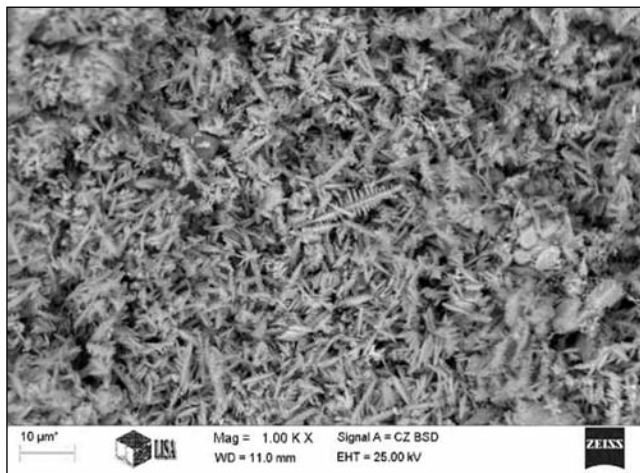
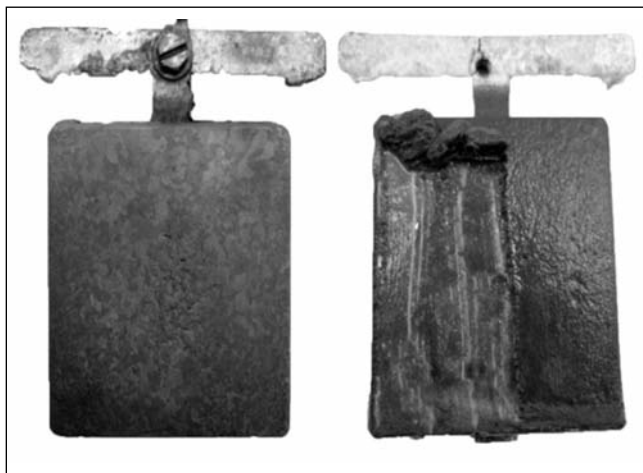
szerkezet is jelzi, hogy a viszonylag gyors töltésátlépési reakció mellett egy gátoltabb diffúziós transzport nem képes a megfelelő ütemű ionutánpótlást biztosítani a katód felülete mentén. A viszonyok csak kis mértékben javíthatók az oldat mozgatásával, az áram periodikus megfordításával, szaggatásával, illetve impulzusáram alkalmazásával [7, 8, 11].

A katódos folyamatokat jelentősen megzavarhatja a nagy katódos áramsűrűségek esetén fellépő hidrogénfejlődés. Erre főleg a még friss, kis fajlagos felületű katódok esetén kerülhet sor, ami viszont már az üzemelés kezdetén kedvezőtlenül gátolhatja az egyenletes leválást a buborékok felületi gátló hatása miatt. Az elektrolízis közben a katódon durva dendrites leválás a jellemző. A katód felületéről messze kinyúló kristályokat – emberi felügyelet nélkül – az 5. ábrán bemutatott elektromechanikus cella katódtömörítő megoldásával lehet hosszú üzemelés közben is távol tartani az anódtól.

A levált réteget a katódról könnyen el lehet távolítani, és hatékonyan beolvasztható a folyékony önfürdő alá nyomva. Ez azonban szárítást is feltételez, amely során a felületi oxidációt meg kell akadályozni. A katódtömörítés csupán a cella zavartalan működését teszi lehetővé, a laza, nagy fajlagos felületű katódon olvasztása az oxidációt kizáró megoldást igényel. A katódon termelt ón jelentősen tisztább az anódot alkotó nyersanyaghoz viszonyítva.

Az elektrolízis mellékterméke az anódon keletkező iszap. Ez egy laza réteget alkot, amit a 6. ábra szemléltet. Az eltávolítása egyszerű, sőt üzem közben megfelelő diafragmás térelválasztás, illetve anódszák alkalmazásával kell megakadályozni az elektrolitban történő diszpergálódását és a katódhoz jutást.

A nyersanyag réz- és ezüsttartalma szabályozott hűtéssel végzett frakcionált kristályosító csurogtatással növelhető. Így könnyen kapható akár 3%-ot meghaladó ezüst- és 10%-ot megközelítő réztartalmú dúsított nyersanyag. Az elektromechanikus cella és megfelelő áramsűrűség alkalmazásakor ilyen anódotvözet esetén is elérhető volt a 99,9% feletti tisztaságú katód-fém. Ezt szemlélteti a 2. táblázat.

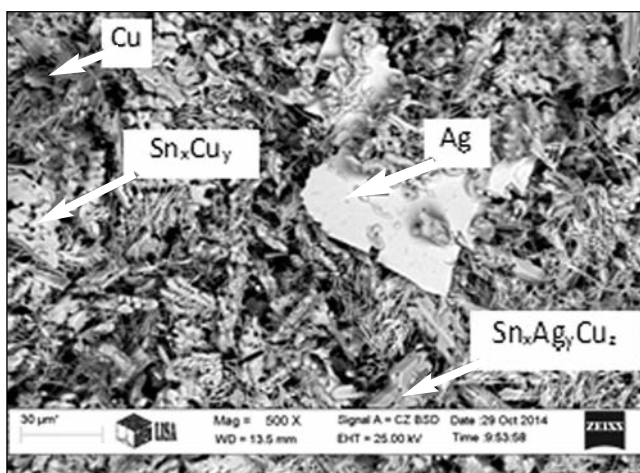
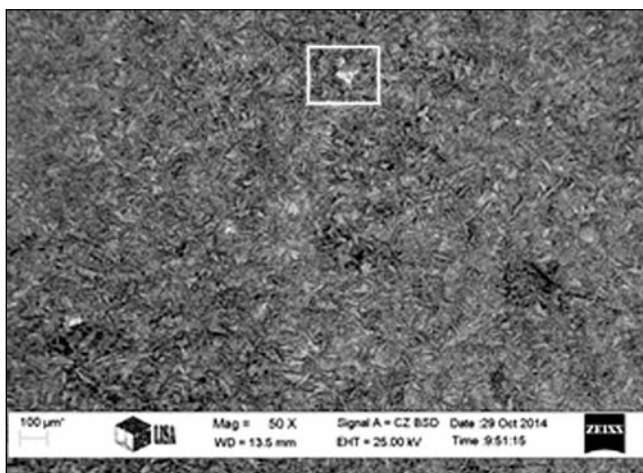


■ 6. ábra. A SAC forrasztási hulladékból készített anódon képződő iszap szerkezete [21]

Ilyen nagy réz- és ezüsttartalmú (SnAg3Cu9) nyersanyagból készült anód felületén keletkező iszap képe eltér a SAC forrasztótvözet hulladékának közvetlen feldolgozásakor (6. ábra) kapottól. A 7. ábra mikrofelvevétele a réz- és ezüsttartalmú, valamint a fémes ezüst és réz idegen fázisok nagyobb mennyiségét szemlélteti.

2. táblázat. Az anód- és a katódfelem összetétele dúsított nyersanyag alkalmazásakor

	Koncentráció, %				
	Ag	Cu	Bi	Ni	Sn
Anód (SnAg3Cu9)	2,830	9,040	0,0040	0,0038	88,091
Katód (1 óra)	0,0090	0,0027	0,0001	0,0002	99,972
Katód (2 óra)	0,0025	0,0096	0,0001	0,0003	99,956
h (2 óra)	>1000	940	40	12,7	-



■ 7. ábra. Az SnAg3Cu9 anyagból készített anódon keletkező iszap jellemzői [25]

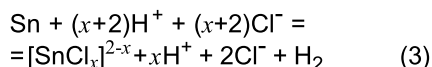
A 7. ábrán szemléltetett iszap kb. 50% ón mellett közel 20% rézet és 5-6% ezüstöt is tartalmaz, de az anód felületén, az Sn(IV) ionok részleges hidrolízise folytán képződő SnO₂·xH₂O precipitátum is előfordulhat. Ennek az iszapnak a feldolgozására kifejlesztett szelektív hidrometallurgiai módszer első lépésében a fémes óntartalmat, valamint megfelelő körülmények között a réztartalmat lehet kioldani forró és nagy koncentrációjú sósavval. Ez a művelet csak az adott oldat forráspontjához közeli hőmérsékleten, és viszonylag nagy savkoncentráció

mellett hatékony, ezért a 8. ábrán látható visszafolyó hűtővel és mágneses keveréssel felszerelt reaktort, valamint termosztáló olajfürdőt kellett a kísérletekhez alkalmazni. A mintavétel a reaktor nyitása nélkül nyomásfokozó kézi pumpával és beépített szelepes mintavevő szeleppel volt megvalósítható. A kivett 2-3 cm³ térfogatú, általában zavaros mintából ülepítés után 0,5-1 cm³ szolgált atomabszorpciós spektrometriai (AAS) elemzésre, miközben a maradék anyag visszakerült a reaktorba [27]. A vizsgálati minták térfogatát levonva

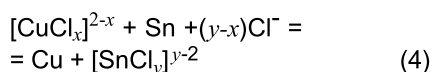
kapható a mindenkorli oldattérfogat a reaktorban. A minták elemzése alapján megállapítható volt a bemért teljes iszaptömegre vonatkozó oldott fémmennyiség. A rendelkezésre álló SnAg3Cu9 típusú dúsított forrasztási ónhulladékkal nagytisztaságú katódok előállítására során félüzemi elektrolizáló cellával termelt anód-iszap nagyobb része a sósavas elválasztó oldási kísérletekhez szolgált alapanyagként. A megmaradt kisebb mennyiség volt használható az ezüst oldódását vizsgáló salétromsavas kioldási kísérletekhez, így az iszap-

minták tömege (20, illetve 2 g) eltérő volt a két lépés során.

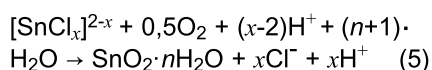
A 6 mol/dm³ HCl-oldat jelentősen a forráspont (110 °C) alatt, 75 °C hőmérsékleten 6 órán keresztül csak lassan és fokozatosan oldja az iszap őntartalmát:



A sósavas közeg az ón kloridos komplex ionokban történő stabilizálódását segíti elő, és az ón oldódása a (2) konproporcionálódási reakció egyensúlya szerint Sn(II) ionokat eredményez, amíg fémes ónszemcsék megfelelő mennyiségben vannak jelen az iszapban [8]. Közben a réz oldódása gyakorlatilag leáll a



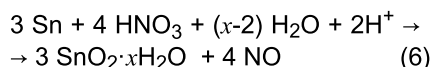
reakció szerinti cementálás hatása miatt. A vizsgált legagresszívabb körülmények között, 10 mol/dm³ HCl-koncentrációval, az ennek megfelelő forrásponton, 85 °C hőmérsékleten végezve a műveletet a 9a ábrán látható módon megy az iszap ón- és réztartalma az oldatba. Az oldást a levegő oxidáló hatása kíséri, ami lehetővé teszi a réz oldódását, ugyanakkor az oldott ón egy részének az ón-dioxid-hidrát típusú csapadék formájában történő kiválását is:



Az oldódó réz cementálódását jelzi a 9a ábrán látható rézkoncentráció-csökkenés a 15–60 perces tartományban, amikor még az iszap nagy mennyiségű ónszemcsét tartalmaz. A fémes őntartalom 120 perces kioldást követő elfogyása után az oldott réz mennyisége ismét növekszik, majd 300 perc elteltével gyakorlatilag az összes ón- és réztartalom kioldódik az iszaptól. Az ón-dioxidos oldhatatlan maradvány a fémes ezüstöt rejtje magában.

A salétromsav forráspontja viszonylag keveset változik (106–116 °C) a térfogat szerinti 1:3 – 3:1 (cc.HNO₃ : H₂O), azaz a 39–53%-os tartományban. Azonban a közegnek a reaktor szilikongumi tömítéseivel

szembeni nagyfokú agresszivitása miatt, a nagyobb salétromsav-koncentrációk esetén csak a 100 °C alatti hőmérsékletek tartománya volt használható. Mivel az ezüst oldása is a nyers iszaptól történt, jelentős mennyiségű ón is oldódott, de a nagy intenzitással közvetlenül végbemenő

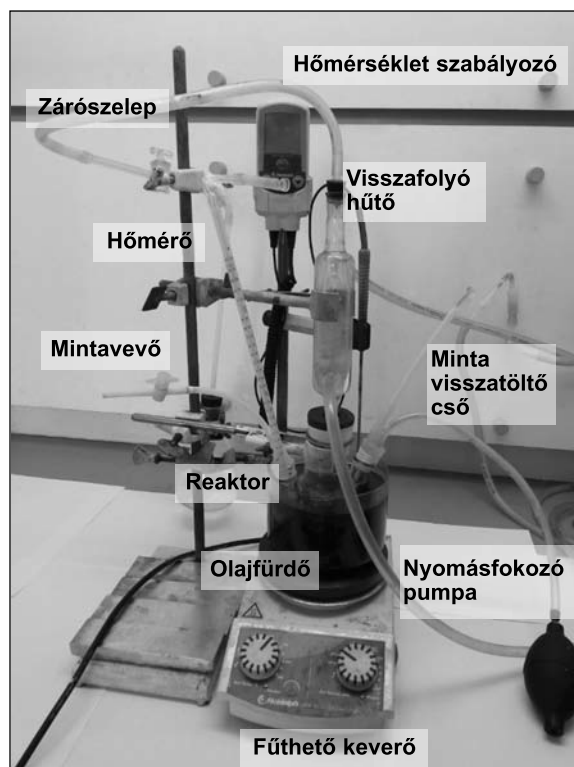


reakció az ónt azonnal csapadékba viszi. A reaktorból kivett minták tehát nagy mennyiségű diszpergált ón-dioxid szemcsét is tartalmaztak, ezért az analízisüket megelőzően alapos szűrésre volt szükség. A gyakorlatban az ezüstoldat tisztán kapható, amennyiben a sósavas kioldás előzetesen megtörténik. A 9b ábrán látható eredmények szerint az iszap ezüsttartalma viszonylag gyorsan kioldódik 90, illetve 100 °C hőmérsékleten, 53%-os (3:1 arányban hígított) salétromsavban. Ezen a hőmérsékleten, de 49%-os (2:1) salétromsavat alkalmazva az ezüstoldódás kinetikai jellemzői alig rosszabbak, de a 39%-os (1:1) salétromsavval már jelentősen kisebb az ezüst kioldási sebessége, illetve mértéke. A 9b ábra azt is szemlélteti, hogy salétromsavas oldás esetében a hőmérsékletnek a 90 °C-ra csökkentése alig rontja az ezüstkioldás jellemzőit. A két kioldási lépést egymás után alkalmazva, az anódiszap ón-, réz- és ezüsttartalma szinte tökéletesen oldatba vihető, az oldhatatlan (ón-dioxidos) végmaradvány mennyisége gyakorlatilag elhanyagolható, illetve a nyersanyag olvasztásánál keletkező oxidos felzékhez visszajártható.

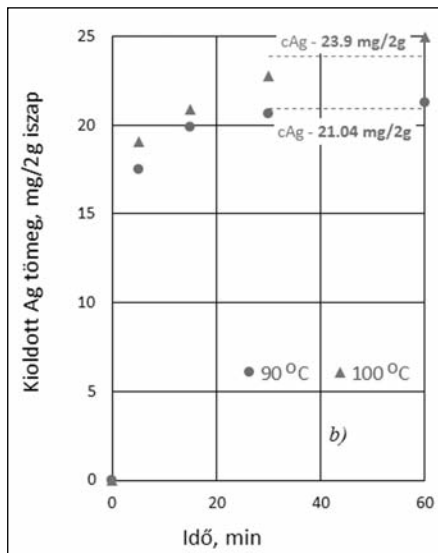
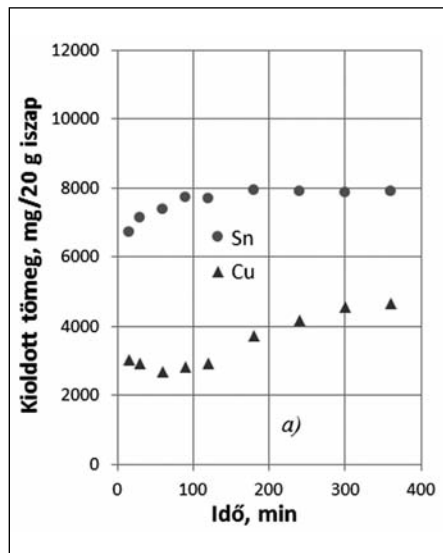
Az anódiszap sósavas oldatból, a savkoncentráció beállítása után a réz szelektíven leválasztható katódosan, majd a tisztított sósavas ón-klorid oldat az ón elektrolitos raffinálásánál az oldat frissítésére felhasználható,

illetve abból az ón inert anódos elektrolízissel kinyerhető. A megfelelő savtartalomra beállított ezüst-nitrát oldatból az ezüst katódosan is kinyerhető, vagy akár nátrium-klorid adagolásával is leválasztható tiszta ezüst-klorid csapadékként. Ebből az ezüst kinyerésére ismert módszerek léteznek [29].

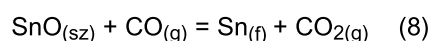
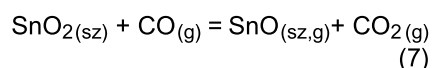
A gyakorlatilag maradékmentes eljárás érdekében, az előkészítő lépéseként, az anódotést megelőzően alkalmazott olvasztás során keletkezett oxidos felzék feldolgozásáról is gondoskodni kell. Mivel a forrasztási hulladék komplex feldolgozására javasolt módszer fő lépése a nedves közegű elektrolitos raffinálás, célszerű ezt az anyagot is teljesen sósavban oldhatóvá tenni. A fémes ón erre alkalmas, azonban az SnO₂ mátrix sem savakban, sem lúgokban nem oldódik [30]. Az oldhatóvá tételhez a legcélszerűbb az előzetes karbotermikus redukció alkalmazása. Tűzálló tégelyben jól elegyítve a megőrölt felzékkel és a finomszemcsés karbon hordozóanyagot, a kinetikailag aktív szén-monoxidot termelő Boudouard-reakciót is biztosító hőmérsékleten (kb. 800 °C felett) az



■ 8. ábra. Az anódiszapoldó kísérleti berendezés összeállítása



■ 9. ábra. Az optimalizált sósavas (a) és az ez követő salétromsavas (b) kioldási műveletek kinetikai jellemzői [27]



reakciók eredményezik az ón-dioxid redukcióját. A lehűlt termék az ónt a 10a ábra scanning elektronmikroszkópos (SEM) felvételén látható apró szemcsék alakjában tartalmazza a szénszemcsék maradványába ágyazva. A 10b ábrán a röntgendiffrakciós (XRD) csúcsok a redukcióval kapott fémes ón, illetve alacsonyabb oxidja, valamint a maradék ón-dioxid jelenlétét igazolják. A savban történő oldhatóság szempontjából a teljes és a részleges redukció is megfelel, így a redukció hatékonyságát megfelelően mutatja a (3) reakció szerint végbemenő

sósavas kioldással kinyerhető ón mennyiségi aránya.

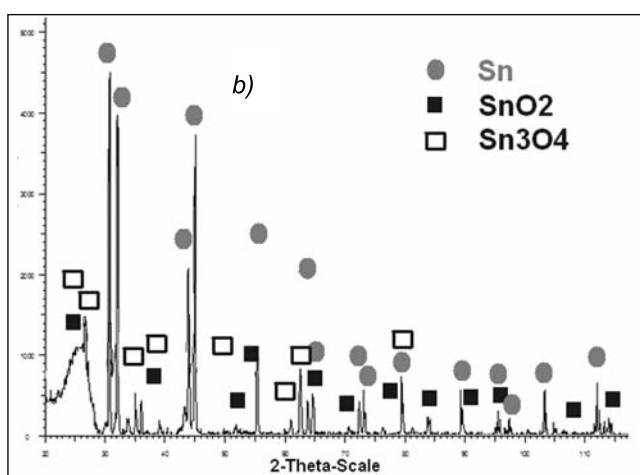
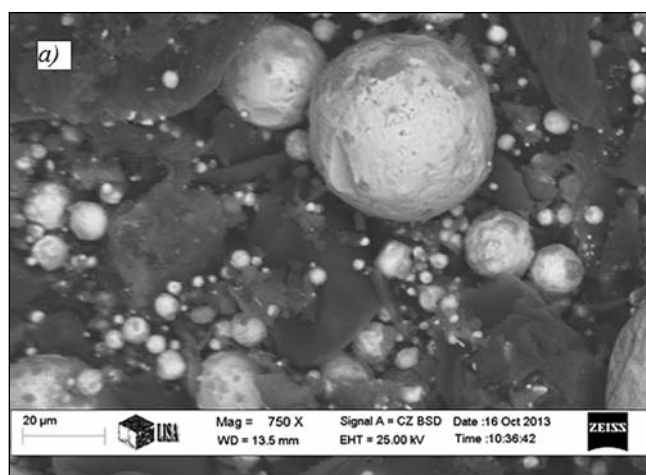
A redukciót 1000 °C-on fél órán keresztül folytatva az SnO_2 zöme fémes, illetve alacsonyabb oxidációs fokozatú, savban oldható állapotba kerül. Hosszabb idejű hevítés lokális reoxidációt eredményezhet a felületen, emiatt a redukálódott ónból illékony monoxid, valamint inert dioxid képződhet, ami a kihozatalt ronthatja. A redukció eredményeképpen kapott anyagot őrlés után 6M forró sósavban oldva 90% feletti ónkihozatal volt elérhető az eredetileg inert, ón-dioxidos felzéből. A maradvány a következő olvasztási adaghoz visszajártható. A redukáló kezelés végrehajtása a felzék porítását végző közönséges őrlőberendezés mellett, csupán koksport, illetve szénport és egy

fedeles tűzálló tégelyt befogadó kemencét igényel.

3. Összefoglalás

A Miskolci Egyetem Metallurgiai Intézeténél végzett több éves kutatómunka eredményeként kialakult az ólommentes forrasztásból származó hulladék feldolgozására alkalmas egyszerű eszközökkel és kis méretekben is gazdaságosan megvalósítható feldolgozási módszer. Ennek a részeredményeiről, a fő lépések részleteit vizsgáló korábbi publikációinkban számoltunk be. Mindez alapján tisztázódtak a fő nehézségek: a sósavas ón-klorid oldat megbízható előállítása és stabilizálása, az elektrolitos raffinálás optimális fel-

tételei, az ón elektro-kristályosodásának a befolyásolhatósága az áram modulálásával, illetve a katód fém tömörítésével, az anódos és a katódos elektródfolyamatok jellemzői, az anódiszap tulajdonságai és feldolgozhatósága, valamint az olvasztásnál keletkező oxidos felzék óntartalmának a kinyerése. Az eljárás laboratóriumi megvalósítása igazolta, hogy a fémes ónból forró sósavas oldással előállított adalékmentes és viszonylag híg, 1 mol/dm³ sósav és 10 g/dm³ ón-klorid összetételű elektrolitoldat alkalmas az ón elektrolitos raffinálására. Az anódpotenciál korlátozása és az oldat összetételének a stabilizálása, valamint a katódos fémleválás tömörítése mellett 99,9%-nál tisztább ón nyerhető, akár az előzetesen frakcionált kristályosítással dúsított



■ 10. ábra. A nyersanyag olvasztásakor keletkezett felzék redukciójával kapott anyag SEM-képe (a) és XRD-spektruma (b) [27]

nagy réz- és ezüsttartalmú öntővetőzetből is. Az ezüst és réz az anódiszapban koncentrálnak, ahonnan forró 6–10 M HCl-oldattal az ón és a réz kioldható, majd az első oldási maradványból az ezüst forró 49–53%-os salétromsavval hatékonyan oldatba vihető. Az oldatokból a réz, az ón, illetve az ezüst szelektíven leválasztható. Az eljárás alapanyaga az oxidos forrasztási ónhulladék olvasztásából öntött anód. Ennek az előkészítő lépésnek is van mellékterméke, ami alapvetően inert óndioxidot tartalmaz. Ebből is kinyerhető azonban az óntartalom egy 1000 °C-on fél órán keresztül végzett karbo-termikus redukciót követő forró sósav kioldással, majd az oldat felhasználható az elektrolízisnél. Ezeknek a lépéseknek az összefűzésével megvalósulhat a célként kitűzött komplex feldolgozási technológia, amivel az ólommentes forrasztásból keletkező egyre nagyobb mennyiségű hulladék értékes fémtartalma szelektíven és tisztán kinyerhető, miközben a környezet terhelése és a hulladék külföldre szállítása is elkerülhető. Az eljárás fő lépését, az elektrolitos raffinálást már nemcsak laboratóriumi méretekben vizsgáltuk, hanem a kutatásba partnerként bekapcsolódott szombathelyi Prometech Színesfém-metallurgiai Kft.-vel félüzemi szinten is megvalósítottuk. Jelenleg a félüzemi kísérletek alapján a technológia finomítása zajlik.

Köszönetnyilvánítás

A kutatómunka a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területén működő Alkalmazott Anyagtudomány és Nanotechnológia Kiválósági Központ keretében, a TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0019 projekt eredményeire alapozva, a TÁMOP-4.2.2.D 15/1/KONV-2015-0017 projekt részeként – az Új Széchenyi Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalom

- [1] Moon, K. W., Boettinger, W. J., Kattner, U. R., Biancaniello, F. S.; Handwerker, C. A.: Experimental and thermodynamic assessment of Sn-Ag-Cu solder alloys, *J. Electro-nic Materials*, 29 (2000) 1122–1136.
- [2] Kim, K. S., Huh, S. H., Saganuma, K.: Effects of Intermetallic Compounds on Properties of Sn-Ag-Cu lead-free soldered joints, *J. Alloys and Compounds*, 352, (2003) 226–236.
- [3] Henderson, D. W., Gosselin, T., Sarkhel, A., et al.: Ag₃Sn plate formation in the solidification of near ternary eutectic Sn-Ag-Cu alloys, *Mater. Res.*, 17, 11 (2002) 2775–2778.
- [4] Anderson, I. E.: Development of Sn-Ag-Cu and Sn-Ag-Cu-X alloys for Pb-free electronic solder applications, *J. Mat. Sci. Mater. Electronics*, 18 (2007) 55–76.
- [5] Hulladékgazdálkodási Információs Rendszer (HIR), <http://okir.kvvm.hu/hir/>
- [6] Rimaszéki, G., Kulcsár, T., Kékesi, T.: Forrasztási ónhulladék hasznosítása sósavas oldatok alkalmazásával. *BKL Kohászat*, 144, 3 (2011) 29–33.
- [7] Rimaszéki, G., Kulcsár, T., Kékesi, T.: Elektrolitos ónrafinálás sósavas oldatokban. *BKL Kohászat*, 144, 5, (2011) 18–22.
- [8] Rimaszéki, G., Kulcsár, T., Kékesi, T.: Investigation and optimization of tin electrorefining in hydrochloric acid solutions, *J. Appl. Electrochem.* 42, 8 (2012) 573–584.
- [9] Rimaszéki, G., Kulcsár, T., Kékesi, T.: Application of HCl solutions for recovering the high purity metal from tin scrap by electrorefining, *Hydrometallurgy*, 125–126, 8, (2012) 55–63.
- [10] Dobó, Zs., Kulcsár, T., Kékesi, T.: Electrorefining of tin in pure acid solutions by mechanically controlled cathode deposition and solar power utilization. *Mater. Sci. Eng.* 37, 2 (2012) 19–26.
- [11] Kulcsár, T., Dobó, Zs., Kékesi, T.: The Effect of Micro-impulse Current on the Morphology of Tin Electrodeposited from Chloride Solutions. *Mater. Sci. Forum*, 752 (2013) 294–303.
- [12] Kékesi, T.: Electrorefining in aqueous chloride media for recovering tin from waste materials. *Acta Metal. Slovaca*, 19, 3, (2013) 196–205.
- [13] Kulcsár, T., Kékesi, T.: Az elektrolitos ónrafinálás kísérleti vizsgálata és az elektródfolyamatok értékelése, *BKL Kohászat*, 147, 2 (2014) 47–52.
- [14] Tóth, G. B., Uchikoshi, M., Kékesi, T.: Az ón katódos leválását befolyásoló polarizációs jellemzők potenciodynamikus vizsgálata sósavas ón-klorid oldatokban, *BKL Kohászat*, 147, 2 (2014) 52–56.
- [15] Harangi, Z., Kékesi, T.: Forrasztási ónhulladék olvasztásából származó ón-dioxidos felzék átalakítása karbo-termikus redukcióval és marónátronos ömlesztéssel, *BKL Kohászat*, 147, 2 (2014) 57–60.
- [16] Harangi, Z., Kékesi, T.: Extraction of Tin from Oxidised Soldering Dross by Carbothermic Reduction and Acid Leaching, *Mater. Sci. Eng.*, 39, 2 (2014) 13–22.
- [17] Toth, G. B., Uchikoshi, M., Kékesi, T.: Polarization Characteristics of Tin Electrorefining in Chloride Solutions, *Mater. Sci. Eng.*, 39, 2 (2014) 103–113.
- [18] Dorakova, A., Kékesi, T.: Pre-treatment of Tin and Aluminium Oxide Drosses for Hydrometallurgy, *Hutnické Listy – Metallurgical Journal*, 67, 5 (2014) 27–32.
- [19] Rimaszéki, G., Kulcsár, T., Máté, Cs., Kékesi, T.: Recovery of high purity tin from soldering scrap by periodical current electrorefining in HCl solutions, *XXVI. MicroCAD International Scientific Conf. Section C*. 29-30 March, 2012. 1–12.
- [20] Dobó, Zs., Kulcsár, T., Kékesi, T.: Elektromechanikus, alternatív megtáplálási rendszer az ón sósavas közegben történő elektrolitikus tisztításához, *XXVI. MicroCAD International Scientific Conf. Section C*. 29–30 March, 2012. 1–6.
- [21] Kékesi, T., Rimaszéki, G., Kulcsár, T.: Recovery of pure tin from soldering waste by electrolysis in chloride media, *Waste Secondary Raw Materials – 5, International Scientific Conf. Liptovsky Jan, Slovakia*, 04–07 June, 2013. 109–117.
- [22] Tóth, G. B., Uchikoshi, M., Kékesi, T.: Potentiodynamic analysis of polarization properties influencing cathodic deposition in tin chloride – HCl solutions. *MultiScience – XXVIII MicroCad International Sci. Conference, Miskolc*, 10–11 Apr. 2014. B10, 1–10.
- [23] Dorakova, A., Kékesi, T.: Solubilization of tin and aluminium oxide drosses obtained from metal melting. *MultiScience – XXVIII MicroCad International Sci. Conference, Miskolc*, 10–11 Apr. 2014. B19, 1–10.
- [24] Harangi, Z., Kékesi, T.: Conversion of tin dioxide drosses obtained from soldering scrap by reduction and alkaline fusion. *MultiScience – XXVIII MicroCad International Sci. Conference, Miskolc*, 10–11 Apr. 2014. B20, 1–12.

- [25] Kulcsar, T., Kékesi, T.: Experimental monitoring and evaluation of the electrode processes in tin electrorefining. MultiScience – XXVIII MicroCad International Sci. Conference, Miskolc, 10–11 Apr. 2014. B21, 1–10.
- [26] Kulcsar, T., Toth, G. B., Kékesi, T.: Complex Evaluation of the Process of Electrolytic Tin Scrap Refining in HCl-SnCl₂ Solutions, Proc. 2014-Sustainable Industrial Processing Summit – Shechtman International Symposium, Cancun, Mexico, 29th June – 4th July, 2014, Vol.4: Recycling, Secondary Battery, Ed. Kongoli, F., 231–249.
- [27] Harangi, Z., Nagy, G., Kékesi, T.: Leaching behavior of the anode slime generated by the electrorefining of An-Ag-Cu alloys, MultiScience – XXIX MicroCad International Sci. Conference, Miskolc, 9–10 Apr. 2015. B5, 1–8.
- [28] Dobo, Zs., Kulcsar, T., Kékesi, T., Rimaszeki, G.: Programozott katódmörítéssel és áramvezérléssel működő berendezés forrasztási ónhulladék elektrolitos raffinálására és eljárás ennek megvalósítására. Lajstromszám: 229 836. Szellemi Tulajdon Nemzeti Hivatala, Budapest, 2014.08.19.
- [29] Ammen, C. W.: Recovery and Refining of Precious Metals, Springer Science & Business Media B.V., Dordrecht, 1997.
- [30] Wright, P.: Extractive Metallurgy of Tin, Elsevier Press, 1967.

LASSÚ GÁBOR – TÖRÖK TAMÁS

Kísérleti lehetőségek egy újszerű analitikai módszerrel a tűzzománc–acél mennyiségi mélységprofil-elemzésére, és az eljárás elvi alapjai

E témakörben folytatott korábbi kutatásaink folytatásaként, ebben a tanulmányunkban a tűzzománc–acél határfelület mennyiségi mélységprofil-elemzésének elvét és azt a módszertani fejlesztést ismertetjük, amellyel még bővebb és egzaktabb elemanalitikai vizsgálati eredményekhez juthatunk. A legutóbbi cikkünkben [1] bemutattuk, hogy a GD-OES (Glow Discharge Optical Emission Spectrometry, ködfénykisüléses optikai emissziós spektrometria) mennyire hatékony módszer a teljes tűzzománcbevonat és a kötés/tapadás szempontjából fontos tűzzománc–acél határfelület elemzésére. Az említett közleményünkben csak a vizsgált bevonatok minőségi mélységprofiljait közöltük, mivel ilyen rendszerhez alig vagy egyáltalán nem szerezhetők be nemzetközileg hitelesített standardok. Végül a TOBIZO Kft. szíves közreműködésével saját tervezésű kvázi-etalonokat készítettünk, melyekkel lehetőségünk lesz a mennyiségi kalibrálást elvégezni, majd a mennyiségi mélységprofilokból többletinformációkat nyerni. Ezáltal nemcsak az elemeloszlások mélységi trendjei, hanem a konkrét összetételviszonyok is tanulmányozhatók lesznek a bevonat teljes keresztmetszetében.

Bevezető

Ahogy az már az előző publikációinkban [1–4] is kifejtettük, az égés után kialakult tűzzománc–acél határfelület alakja, összetételviszonyai hatást gyakorolnak a bevonat „jósági”/megfelelőségi tulajdonságaira. Általánosan elmondható, hogy bármely bevonat jellemzéséhez/hibakereséshez szükség van egy vizualizációs- és egy összetétel-elemző vizsgálati technikára. A Metallurgiai Intézetben rendelkezésre álló GD-OES nagyberendezés egy összetétel-elemzésre alkal-

mas eszköz, ami a speciális gerjesztési módszere miatt mélységprofil-elemzésre is használható. Eddigieken csak kalibrálás nélküli, ún. minőségi mélységprofilokon vizsgáltuk és hasonlítottuk össze a tűzzománcbevonatokat. Jelen cikkben be szeretnénk mutatni a mélységprofil-kalibrálás általános menetét és annak elvi hátterét a Horiba Jobin Yvon Profiler 2 esetében, valamint az inhomogén vagy többretegű minták (kvázietalonok) bemérését segítő újítást a berendezés szoftverében.

Kísérleti feltételek

A tűzzománc mint üveges vastagbevonat mennyiségi mélységprofil-elemzéséhez tehát szükségünk volt üveg-etalonokra. A különleges színező/pigmentáló anyagok és a kötőoxidok nélkül az alpmátrix egy „közönséges” nátrium-borosilikát üveges fázis. Az etalongyártóknál nem találtunk ilyen jellegű etalonokat. Ez azért is lehet, mert az üveggyártásnál az összetételek nem olyan szigorúan szabályozottak, mint más, például fém alapanyagok gyártásánál. A többalkotós üveges fázisban nincsenek olyan hirtelen/ugrásszerű tulajdonságváltozások, a végcél pedig egy összetétel-tartományon belül maradni.

A fentiek miatt házi etalonokat, üvegmatricákat gyártattunk, ezek összetétele a bemért oxidos alapanyagokból számítható volt. Az összetevők a következők voltak: kvarcliszt (SiO₂), alumínium-oxid, titán-dioxid, bórax-pentahidrát, szóda, nátrium-tripolifoszfát, nátrium-szilikofluorid, kálium-nitrát, lítium-karbonát, kriolit, mészközliszt és kálium-karbonát (1. táblázat).

Mérési próbálkozásaink voltak még ásványmintákkal (6–8 mm-es szeletek), 6–8 mm vastag ún. lépnyekké olvasztott zománcmintákkal, de mindkét esetben nehezen sikerült

1. táblázat. A felhasznált minták összetétele a bemérések alapján

	a	b	c	d	e	f	LUF10-9	LUF10-185
	%							
kvarciszit	48,98	44,74	45,51	54,58	52,40	48,23	39,94	46,95
alumínium-oxid	6,98	4,83	7,86	1,00	1,91		5,71	0,86
titán-dioxid		3,07		4,98	11,47	8,36	2,74	8,13
bórax-pentahidrát	28,11	25,67	26,12	21,33	20,48	18,85	22,91	18,34
szóda						11,80	5,48	11,49
nátrium-tripolifoszfát	0,20	0,18	0,19				0,16	
nátrium-szilikofluorid	15,72	14,36	14,61	4,98	4,78	4,40	12,81	4,28
kálium-nitrát		7,14		7,48		6,61	2,70	2,25
lítium-karbonát				3,67	7,05			3,15
kriolit				1,99	1,91	1,76		1,71
mészkőliszt			5,72				5,03	
kálium-karbonát							2,52	2,84

olyan beállításokat találunk, amivel stabil mérési körülményeket tudunk volna elérni (a plazma megszakadt, a porlasztási sebesség minimális volt). Emellett a különböző tesztesre szánt mintákat a partner cég a saját laboratóriumi gyakorlatában is acél vékonylemez hordozóra égeti, így a tervezett jövőbeli mérések miatt is erre a konfigurációra kellett a paramétereket optimalizálnunk.

A vizsgálatokhoz a minták 100×50×1 mm-es DC01EK jelű (zománcozható acélminőség) lemezekből készültek. A lemezek a megszokott előkészítési technológiai lépéseken estek át (zsírtalanítás, sósavas pácolás). A fent felsorolt alapanyagokból nyolc különböző összetételű üvegmatrix receptúrát keverték be, ezeket félüzemi körülmények között elektromos tégelykemencében megolvastották, vízbe frittelték, majd púder finomságúra őrölték, vízzel szuszpenziót képeztek, és a mintalemezekre mártással vitték fel a különböző összetételű anyagokat. Ezeket a mintákat később 840 °C-os hőmérsékleten égették. A GD-OES mérések 40 W teljesítményen és 600 Pa nyomáson (nagy tisztaságú Ar) történtek, Horiba Jobin Yvon Profiler 2 típusú berendezésen.

A kalibrációs méréseket a berendezéshez tartozó Quantum vezérlőszoftver újítása tette megbízhatóbbá, vagy egyáltalán lehetővé [5]. Ez az új funkció a

szoftverben egy lehetőség arra, hogy etalonbemérésnél használni tudjunk egy „sima” mélységprofil. Ezzel a funkcióval a kalibrálás során előhívhatjuk az adatbázisból a már bemért mélységprofilokat, és az eredménydiagramokon bejelölhetjük azt a tartományt, amit megfelelőnek találunk. Ezek után a szoftver ebből a kiválasztott tartományból számolja az intenzitások átlagát. Az 1. ábrán látható az ehhez a funkcióhoz tartozó párbeszédpanel a szoftverben. A kezelő úgy választhat ki egy tartományt, hogy a diagramon mozgatni tudja a határokat jelző függőleges vonalakat, és a felső bekeretezett részen a tartományhoz tartozó x tengely értékek (mérési idő) is megjelennek. Ha a tartomány kijelölése megtörtént, a kiválasztást az OK gomb megnyomásával lehet nyugtázni.

Az eddigi eljárás abból állt, hogy az etalonok bemérésénél egy előre beál-

lított adott porlasztási idő során gyűjtött adatokat átlagolta a szoftver, ha esetleg túl nagy volt a szórás, akkor újramérhettünk. Ebből is látszik, hogy inhomogén vagy több vékony rétegből álló mintáknál gond adódhatott abból, hogy ha a mért adatok például rétegátmenetből vagy esetleg egy változó összetételrészéből kerültek ki, akkor a szórás és ezzel a bizonytalanság megnövekedett.

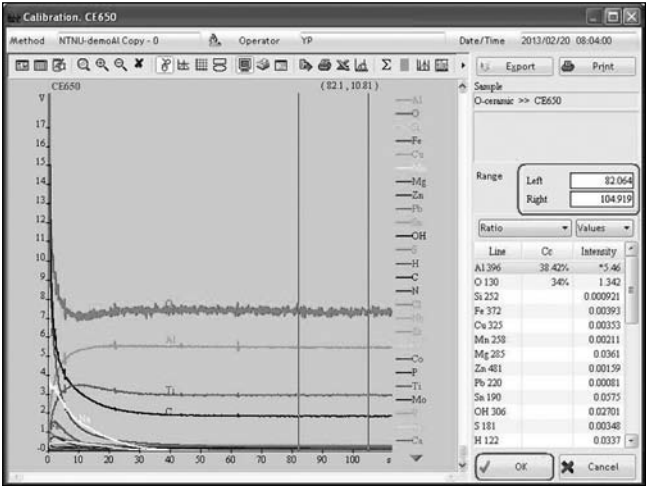
A kráterek mélységét Mahr gyártású profilométerrel határoztuk meg, erre azért volt szükség, mert a szoftver figyelembe veszi az úgynevezett relatív porlasztási sebességet (tisztas vas etalonra vonatkoztatott porlasztási sebesség).

Eredmények, értelmezés

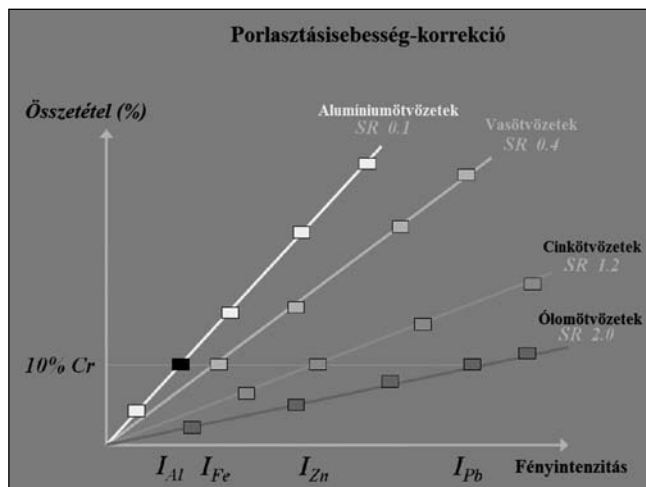
A továbbiakban a mélységprofil-kalibráció elvét ismertetjük [6–7].

A GD-OES egy összehasonlító jellegű mérési technika, a mérések eredményei alapesetben a detektált intenzitások (I ; önkényesen kijelölt egységben). Ahhoz, hogy az intenzitásokból koncentrációkat kapjunk, kalibrációt kell végeznünk, azaz kalibrációs függvényeket kell létrehozunk ($koncentráció = f(I)$) azokból az elemekből és azokra a tartományokra, amikkel és ahol mérni szeretnénk.

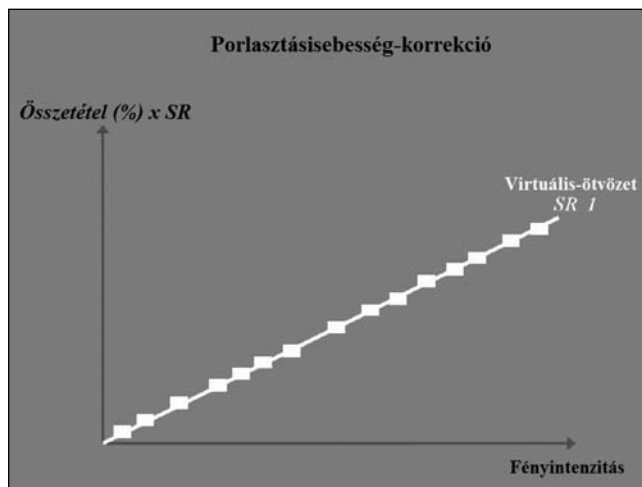
A kalibráció nem univerzális, nem a gépet kalibráljuk, egy módszert kalibrálunk, amit egy adott anyaghoz választottunk és alakí-



1. ábra. Mélységprofil-elemzések használata kalibrációhoz az etalon bemérése helyett [5]



■ 2. ábra. Különböző anyag típusok összetétel–intenzitás függvénye egy kiválasztott ötvözetalkotóra (például krómra) [6]



■ 3. ábra. A virtuális ötvözet kalibrációs görbéje [6]

tottunk (az adott anyag tulajdonságaihoz illesztett paraméterekkel). Például lehet külön módszerünk a szén-acélhoz, titánhoz, alumíniumhoz. Tehát egy berendezésen több különböző anyag típushoz készített módszer és kalibráció lehet egyszerre.

A mélységprofil-kalibráció többre-egű vagy változó összetételű minták elemzéséhez szükséges. A kémiai összetétel a különböző típusú anyagok egymásra rétegzettsége miatt változik a porlasztás során a mélység függvényében (pl. gépjármű-karoszerialemez esetében: polimer alapú festékrétegek, alatta cinkbevonat, alatta acéllemez). Emiatt egy pontos mélységprofil-kalibrációhoz szükségesek hiteles anyagminták a különböző anyagokból/ötvözetekből, amik az adott mérni kívánt mintáknál szóba jöhetnek.

Azonban ha az összetétel-vizsgálat kalibrációjához a spektroszkópiában általánosan használt módszert, a $koncentráció = f(I)$ függvények felvételét használnánk egy ugyanazon elemet több anyag típusban tartalmazó minták esetében is, akkor a kalibráció nem lenne lehetséges. A több anyag típusból származó minták nem illeszkednének egy kalibrációs görbére (az anyagfüggő és különböző porlasztási sebességek miatt), mindegyiknek anyag típusonként külön lenne egy kalibrációs görbéje. Mélységprofil-mérések

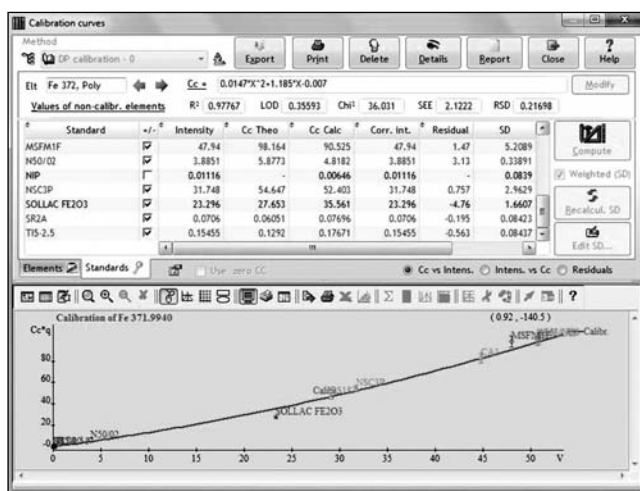
közben viszont egyik rétegből a másikba jutunk, így változik az anyag típusa is közben, s emiatt ez a fajta kalibráció használhatatlan lenne.

A fentebbiek miatt az általános kémiai elemzés kalibrációjától eltér a mélységprofil-kalibráció. Az általános összetétel-elemzési egyenletbe $konc. = f(I)$, bekerül egy új konstans, ami a porlasztási sebességgel arányos (SR vagy q). Ez az érték a minta anyagától függ, és a segítségével a különböző anyagcsoportokból származó mintákat egy kalibrációs görbére lehet illeszteni, s ezzel lehetségesé válik a mélységprofil-kalibráció. Ezek alapján a mélységprofil-kalibrációhoz tehát a $konc. \cdot q = f(I)$ függvényeket kell felvenni. Ezt szemlélteti a 2. és a 3. ábra. A 2. ábrán látszanak a porlasztási sebesség különbségekből adódó összetétel–intenzitás függvé-

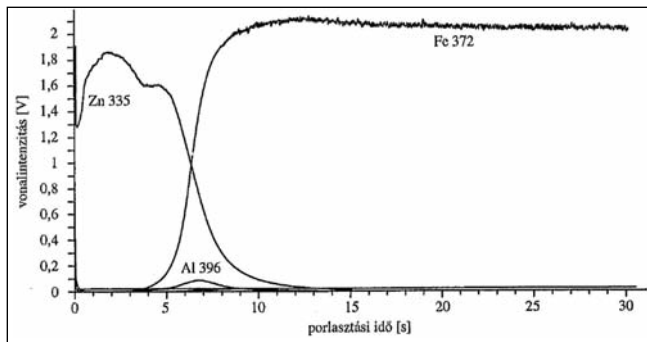
nyek meredekségeinek különbségei, a 3. ábrán pedig az látható, hogy a porlasztási sebességgel beszorzott mérési pontok már illeszkednek egy egyenesre, a virtuális ötvözet kalibrációs egyenesére.

Ez a módszer visszatükrözi azt a tényt is, hogy a porlasztás és az atomok gerjesztése két elkülöníthető folyamat eredménye. A porlasztással a minta felületéről váltunk ki atomokat, melyek gerjesztődése már ettől a felülettől kissé távolabb, magában a plazmában, ütközések során történik. A plazmában tehát a szilárd minta felületi részének folyamatos porlasztódása után, a különféle kiűtött atomok már lényegében ugyanolyan mechanizmus szerint gerjesztődnek (és bocsátanak ki fényt), függetlenül attól, hogy milyen anyag típusból származnak, vagyis hogy mennyire gyorsan vagy lassan porlasztódnak.

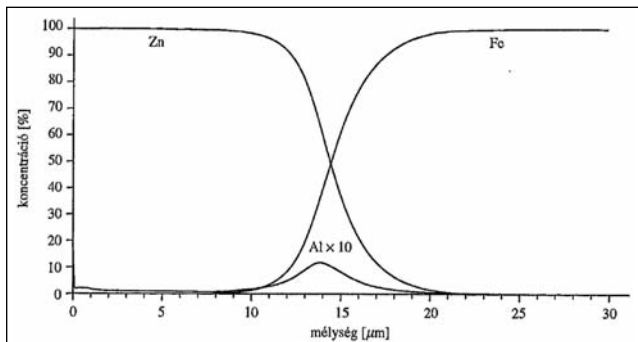
A porlasztási sebesség azt fejezi ki, hogy mekkora tömegű anyag távolított el egységnyi idő alatt egységnyi felületről, ami a mérési körülményektől és a porlasztandó anyagtól függ. Kisebb keménységű anyagoknál a porlasztási sebesség általában nagyobb, mint a keményebb anyagoknál. A porlasztási sebesség tehát a szilárd minta anyag típusára (kötéserősség, kristályosság, textúra stb.) jellemző, és nem az azokat alkotó ato-



■ 4. ábra. Egy adott mélységprofil-kalibrációnál a vas elemhez tartozó kalibrációs görbe [6]



■ 5. ábra. Horganyzott acéllemez minőségi mélységprofilja [8]



■ 6. ábra. Az 5. ábrán látható minőségi mélységprofilból készült kvantifikált mennyiségi mélységprofil [8]

mokra. Például egy horganyzott acéllemez minta esetében a cinkrétegben nagyobb a porlasztási sebesség az acélhoz viszonyítva, és a határfelületen az acélhordozó felé áthaladva a porlasztási sebesség lassan csökken.

Meg kell azonban azt is állapítani, hogy ez sem univerzális kalibráció, egy adott módszerre (adott paraméterekkel) és a hozzá tartozó bevonatolt anyagra lesz csak megfelelő. Ugyanakkor egy berendezésen többféle bevonat–anyag kombinációhoz is lehet kalibrációnk/módszerünk. A következő két dologgal emellett mindenképpen fontos számolni a módszerek kialakításánál, melyek a működési paraméterekkel vannak kapcsolatban. Egy adott módszeren belül a működési paraméterek tehát rögzítettek, s emiatt a következő nehézségek adódhatnak:

- Kisebb keménységű anyaghoz szeretnénk kalibrációt készíteni (pl. ón), akkor az ehhez az anyaghoz illő paraméterezéssel (alacsonyabb teljesítmény) kell végigmérnünk az összes többi mérendő mintát is, akkor is, ha ez néhány minta esetében nem optimális.
- A mélységprofilhoz a mélységfelbontás egy kritikus paraméter, tehát a mérendő anyagnál minél laposabb kráterfenék elérése a cél (ezt a nyomás változtatásával lehet finoman módosítani). Ebben az esetben szintén előállhat olyan helyzet, hogy a kiválasztott méréshez optimális paraméterek a kalibráló minták bemérésére nem minden esetben optimálisak.

A 4. ábrán egy valós mélységprofil-kalibrációhoz tartozó kalibrációs görbét mutatunk, ahol látható maga a kalibrációs függvény (egyenlet), a kalibráláshoz figyelembe vett, illetve

felhasznált és nem használt minták/etalonok listája, maga a kalibrációs görbe és a rajta elhelyezkedő felhasznált minták (etalonok) pontjai.

A 4. ábrán látható kalibrációhoz acél, réz, nikkel, kerámia és oxidos mintákat használtak.

Ha egy kalibráció egyszer elkészült, akkor a szoftver mélységprofilelemzés közben rögzíti az intenzitásokat és ezután felhasználja a kalibrációs egyenleteket, hogy végeredményként mennyiségi mélységprofilunk (koncentráció a krátertermélység függvényében).

Az 5. ábrán látható egy cinkbevonatos acéllemez minőségi mélységprofilja, a kiválasztott elemeknél a hozzájuk tartozó hullámhosszúságú vonalon detektált fényintenzitások jelennek meg a mérési idő függvényében. Egy minőségi mélységprofilból úgy lesz mennyiségi mélységprofil, hogy a mérőberendezés szoftverébe épített algoritmus meghatározott bemenő adatok segítségével átszámolja, kvantifikálja az eredményeket. Meghatározza, hogy a porlasztás előrehaladtával egy adott detektált jelet kibocsátó atom a minta felületétől milyen mélységben helyezkedett el eredetileg. Ehhez a bemenő paraméterek a koncentráció–intenzitás függvények, és minden standardnál a rögzített paraméterek melletti porlasztási sebességek. Az előzőekben vázolt okok miatt és alapelvek szerint a porlasztási sebességek segítségével a szoftver virtuálisan hasonló tulajdonságú anyagokká változtatja a különféle anyag típusokat.

A 6. ábrán az 5. ábrán látható minőségi mélységprofil kvantifikált, mennyiségi mélységprofilja látható. Itt már az intenzitásokból számolt

összetételeket lehet leolvasni a krátertermélység függvényében.

Következtetések

- A fent leírt módszer segítségével és a vázolt körülmények/szemponatok figyelembevételével inhomogén üveges minták kalibrációjára is lehetőség nyílik.
- Az általunk használni kívánt tűzománcozott kvázietalon minták bemérését lehetővé teszi a berendezés szoftverének azon új funkciója, amelynek a segítségével egy közös mélységprofil-elemzésben kijelölt tartományt etalonbemérésként tudunk felhasználni.
- Az eddigi tűzománc–acél kötőréteg vizsgálatainkat ezáltal ki tudjuk egészíteni a kalibrációs eljárás végén nyerhető kvantitatív adatokkal, validálhatjuk az eddig a minőségi mélységprofilokból levont következtetéseinket.
- A módszer akár az üvegipar számára is használhatóvá tehető, egyfajta kiegészítő elemzőtechnika gyanánt.

Köszönetnyilvánítás

A kutatómunka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 projekt eredményeire alapozva a TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0019 jelű projekt részeként – az Új Széchenyi Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Külön köszönet illeti a TOBIZO Kft.-t a mintadarabok legyártásáért (Biri József és Víz Józsefné közreműködésével).

Irodalom

- [1] Lassú G., Svéda M., Török T.: Az acél-tűzzománc kötési erősség és az átmeneti réteg vizsgálata változó égetési idő függvényében, BKL Kohászat, 2014., 147. évfolyam, 2. szám, 41–47.
- [2] Barta E., Török T., Lassú G.: Az acél és a tűzzománc bevonat közötti kötésről, Anyagok Világa (Materials World) 10 (3) (2012) 14–28.
- [3] Lassú G.: Tűzzománc, egy üveges vastagbevonat és annak újszerű vizsgálati módszere (Poszter-előadás), XXVI. Hőkezelő és Anyagtudomány a Gépgyártásban Konferencia, Bala-tonfüred, 2014. okt. 6–12.
- [4] Lassú G.: Tűzzománc-bevonatok fejlesztését támogató vizsgálatok (előadás), XV. Fémkohász Szakmai Nap Miskolci Egyetem, 2014. november 7.
- [5] Horiba Jobin Yvon Profiler 2 User Manual: How to use depth profile results within a calibration, Longjumeau, 2013.
- [6] Horiba Jobin Yvon Profiler 2 User Manual: Quick Guide to Depth Profile Calibration, Longjumeau, 2013.
- [7] Th. Nelis, R. Payling: Glow Discharge Optical Emission Spectroscopy: A Practical Guide, Royal Society of Chemistry, 2003.
- [8] Az elemanalitika korszerű módszerei (szerk.: Záray Gyula), Pallósi József, Záray Gy.: 7. Glimmkisülésű sugár- és ionforrást alkalmazó spektrometriai eljárások, Akadémiai Kiadó, Budapest, 2005, 298–300.

RONTÓ VIKTÓRIA – TRANTA FERENC – SVÉDA MÁRIA – ROÓSZ ANDRÁS

Hozzáadott cink hatása az Sn-Bi forrasztótvözet szerkezetére és kristályosodási tulajdonságaira

Az új ólommentes forrasztanyagok kifejlesztésénél olyan tulajdonságokra kell fókuszálni, mint pl. a likvidusz-hőmérséklet (a kristályosodás kezdete), a szilárd-olvadék átmeneti zóna hőmérséklet- vagy időtartománya, szövetszerkezet, mechanikai tulajdonságok, nedvesítés. Az Sn-Bi alapötvözethez cinket adagolva vizsgáltuk a szövetszerkezet és a termikus tulajdonságok változását.

1. Bevezetés

Az Európai Unió által megfogalmazott irányelvek alapján 2006. július 1-jétől tilos ólomtartalmú forrasztanyagokat használni elektronikai termékek gyártásában az ólom környezetszennyező hatása miatt. A direktíva többek között korlátozza az elektromos és elektronikus készülékekben felhasználható veszélyes anyagokat, ill. korlátozza a készülékek eldobásakor keletkező elektronikai szemét képződését.

Az új, ólommentes forrasztanyagok kutatása számos problémát, kérdést vet fel az új anyagok tulajdonságait és technológiai alkalmazásukat tekintve [1]. A fő problémák az ólommentes forrasztással:

- nagyobb az ötvözetek olvadáspontja;
- kisebb a technológiai ablak (process window);
- rosszabb a nedvesítés;
- gyenge az ólommentes alkatrészválaszték;
- le kell-e cserélni a jelenlegi bevonatokat?
- megbízhatósági problémák;

- új forrasztási hibák.

Új ólommentes forrasztanyagok kifejlesztésénél olyan tulajdonságokra kell fókuszálni, mint pl. a likvidusz-hőmérséklet (a kristályosodás kezdete), a szilárd-olvadék átmeneti zóna hőmérséklet- vagy időtartománya, nedvesítés, szövetszerkezet, mechanikai tulajdonságok. A közel eutektikus összetételű Sn-Zn ötvözetek Bi hozzáadásával jó választásnak tűnnek a kis olvadáspont és jó mechanikai tulajdonságok miatt. Nem annyira kedvező tulajdonsága az Sn-Zn ötvözeteknek, hogy hajlamosak az oxidációra és a korrózióra [2]. A vizsgálatok szerint a nagy Bi-tartalom is kedvezőtlen hatású lehet a Bi törékenysége és szegregációja miatt [3, 4].

Kim és munkatársai [5] az eutektikus Sn-9Zn és az Sn-8Zn-(1, 2, 3, 6, 8 t%) Bi-ötvözeteket vizsgálták levegő-, ill. kemencehűtés esetén. A Bi-tartalom függvényében megállapították, hogy 6% Bi-tartalomig nő a folyáshatár (40 → 80 MPa) és a szakítószilárdság (60 → 95 MPa), ezzel párhuzamosan csökken a nyúlás (17 → 10%).

A töretfelület gödröcskés szívós törést mutat Sn-9Zn ötvözetnél, a Bi-tartalom növelésével ez a jelleg csökken, egyre ridegebb törést mutatnak az ötvözetek. A nagyobb lehűlési sebesség finomabb, egyenletes szövetszerkezetet eredményezett, amelyben rúd- vagy tűalakú Zn-fázis található; a Bi-tartalom növekedésével nőtt a kivált Zn- és Bi-fázis mennyisége (1. táblázat). A levegőn hűlt (azaz gyorsabb hűtésű) ötvözeteknél mindig nagyobb folyáshatárt és szakítószilárdságot látunk. Lassú hűtésnél az ötvözetek egyre több hibát (durva Zn-tűk, Bi-kiválás, repedések) tartalmaztak, ahogy nőtt a Bi-tartalom. Fontos tehát a nagy Bi-tartalmú ötvözeteknél odafigyelni a hűlés sebességére!

Zhou és munkatársai szintén Sn-Zn-Bi ötvözeteket vizsgáltak, ahol változott a Bi-tartalom azonos Zn-tartalom mellett, ill. azonos Bi-tartalomnál nőtt a Zn-tartalom [6]. Mechanikai tulajdonságok tekintetében hasonló eredményeket kaptak, mint Kim és munkatársai [5]. A szakítószilárdság 0–4% Bi-tartalomnál 62-ről 86 MPa-ra nőtt; további Bi-tartalom növekedésénél a szakítószilárdság enyhén csökkent. A Zn-tartalom 6%-ig növeli, majd csökkenti a szakítószilárdságot. A nyúlás 4 t% Bi-tartalomig drasztikusan csökkent (28%-ról 6%-ra), majd enyhén tovább csökkent a Bi-tartalom növelésével. A nyúlás fokozatosan

1. táblázat. Sn-Zn-Bi ötvözetek szövetszerkezete és mechanikai tulajdonságai levegőn hűtés, ill. kemencében hűtés esetén [5]. Az összetételek t%-ban értendők

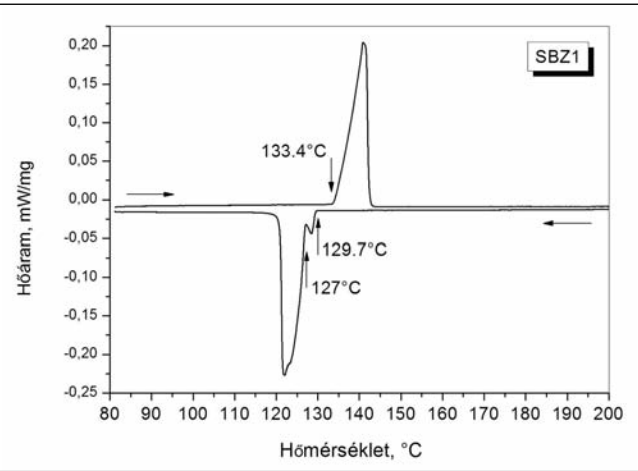
	Levegőn hűlt	Kemencében hűlt	Folyáshatár MPa (L.h/K.h.)*	Szakító-szilárdság MPa
Sn-9Zn	sok finom méretű Zn-tű, egyenletesen oszlik el + β-Sn mátrix	nagyméretű Zn-tűk + β-Sn mátrix	32/22	46/28
Sn-8Zn-1Bi	sok finom méretű Zn-tű, egyenletesen oszlik el + β-Sn mátrix	finom Zn-tűk +β-Sn mátrix	45/25	60/33
Sn-8Zn-3Bi	megjelenik önállóan a Bi-fázis	több, kisméretű Zn-tű + Bi-fázis + β-Sn mátrix	60/30	75/45
Sn-8Zn-6Bi		Zn- és Bi-fázis önállóan + β-Sn mátrix	65/30	80/47
Sn-8Zn-8Bi	még több kivált Bi-fázis	több Zn- és Bi-fázis önállóan + β-Sn mátrix	45/33	75/48

*L.h/K.h. – levegőn hűlt/kemencében hűlt

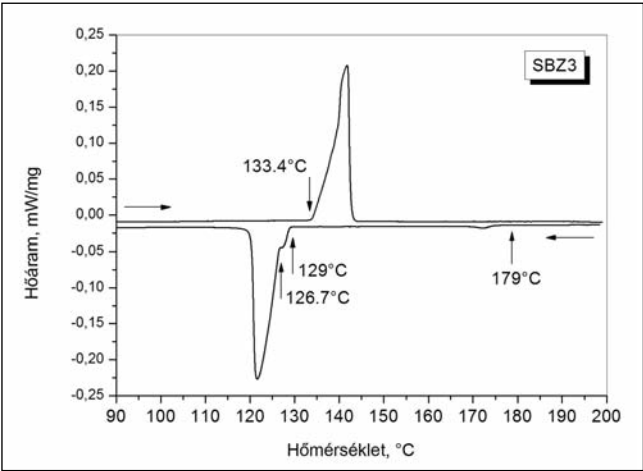
csökkent (10 → 2%-ra) a Zn-tartalom növelésével is. Kis mennyiségű Bi oldódik az Sn

rácsában, erősítve az alpmátrixot. Nagyobb Bi-tartalomnál bizmutos és cinkes fázisok válnak ki, amelyek

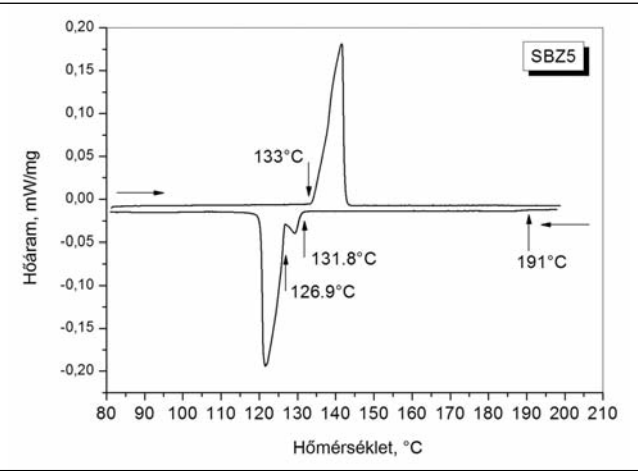
repedések kiinduló pontjai lehetnek. A nedvesítési kísérletek szerint, a Bi-tartalom 2-10% közötti növekedé-



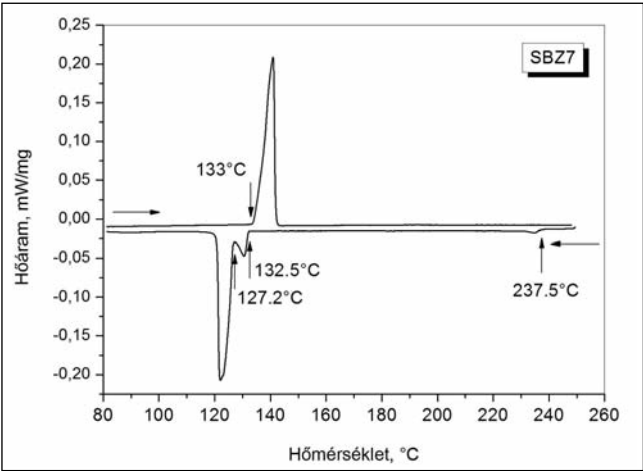
a) Sn–Bi–1 t% Zn



b) Sn–Bi–3 t% Zn

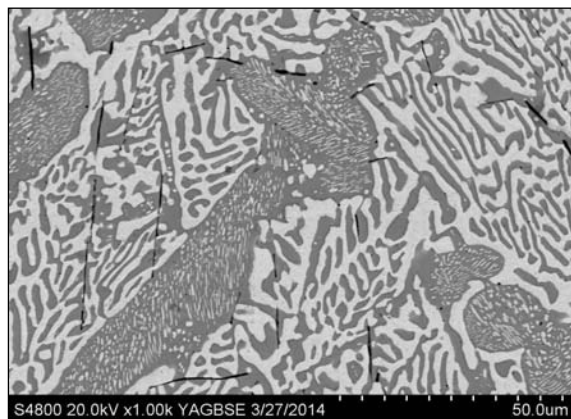


c) Sn–Bi–5 t% Zn

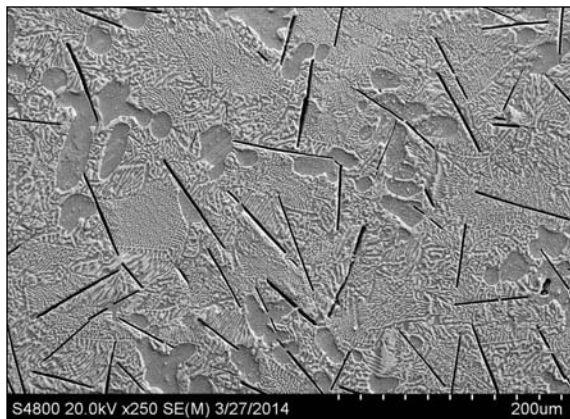


d) Sn–Bi–7 t% Zn

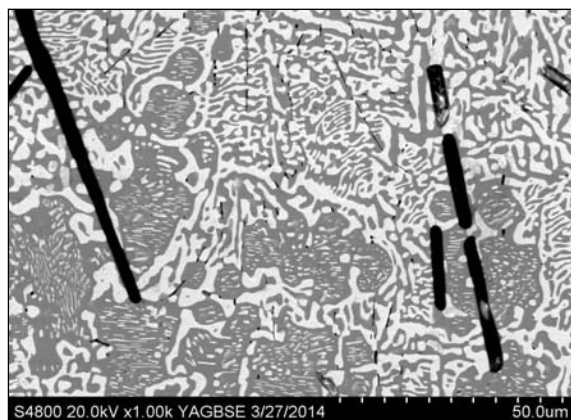
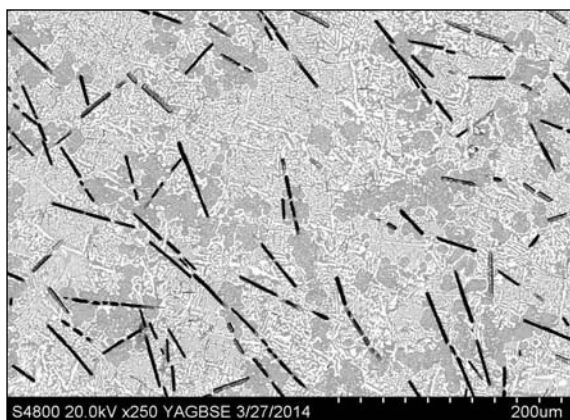
1. ábra. A különböző összetételű Sn-Bi-Zn ötvözetek DSC-görbéi. Hevítés/hűtés sebessége 1 °C/min



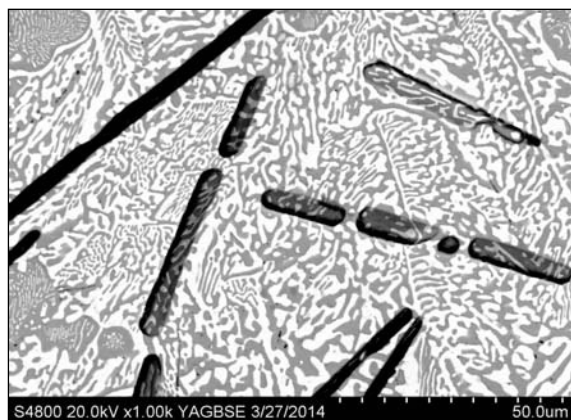
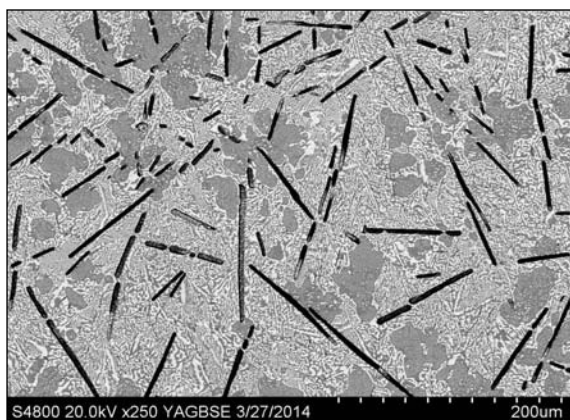
SBZn1



SBZn3

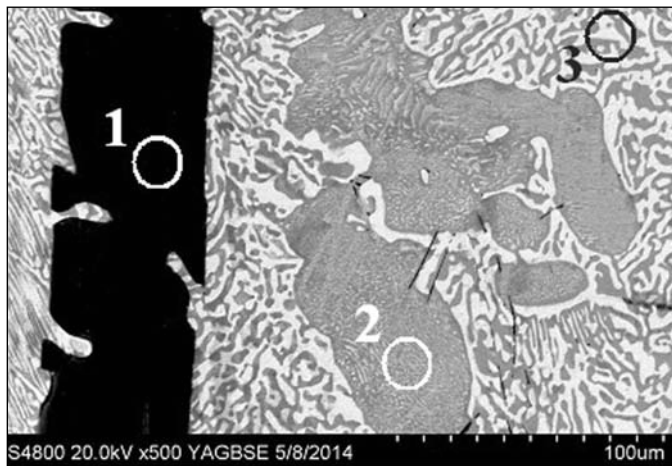


SBZn5



SBZn7

■ 2. ábra. Az öntött Sn-Bi-Zn ötvözetek szövetszerkezete



Terület	Si	Zn	Sn	Bi
1	27.32	71.95	0.73	0.00
2	1.33	-	77.13	21.55
3	0.39	1.83	43.64	54.15

■ 3. ábra. A fázisok összetételének SEM-EDS-elemzése. A minták előkészítése szilikagéllal történt, a mérés ennek Si-tartalmát is mutatja, amely a minták felületét vonja be

2. táblázat. A vizsgálatokhoz összeállított Sn-Bi-Zn ötvözetek

	hipoeutektikus Sn-Bi-ra					
	tömeg%			tömeg, g		
	Sn	Bi	Zn	Sn	Bi	Zn
SBZn1	43	56	1	4,3	5,6	0,1
SBZn3	43	54	3	4,3	5,4	0,3
SBZn5	43	52	5	4,3	5,2	0,5
SBZn7	43	50	7	4,3	5	0,7

sével nőtt a nedvesítés réz alaplapon. A Bi felületaktív elemként csökkenteni tudta az Sn-Zn forraszanyag felületi feszültségét és a forrasztótvözet szétterjedését a réz alaplapon. A Zn-tartalom növekedése kis mértékben növeli a nedvesítést. A Zn hajlamos reagálni a Cu alaplappal, gyorsabban diffundál az alaplapra, mint a többi elem. A forrasztás nyírószilárdsága 4% Bi-tartalomig enyhén nő, eléri a 27 MPa-t, majd csökken.

Az Sn-Zn-Bi/Cu határfelületen pórusok keletkeznek, amelyek gyengítik a kötést. A pórusok a kristályosodáskor fellépő zsugorodás eredményeként keletkezhetnek.

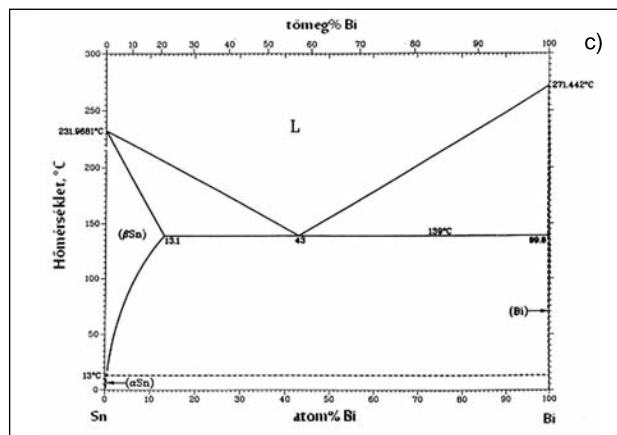
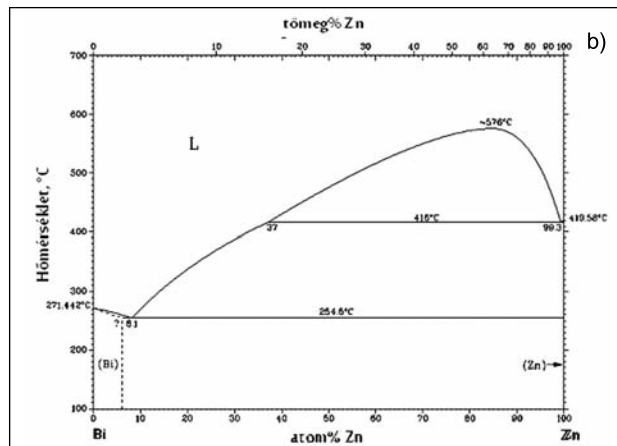
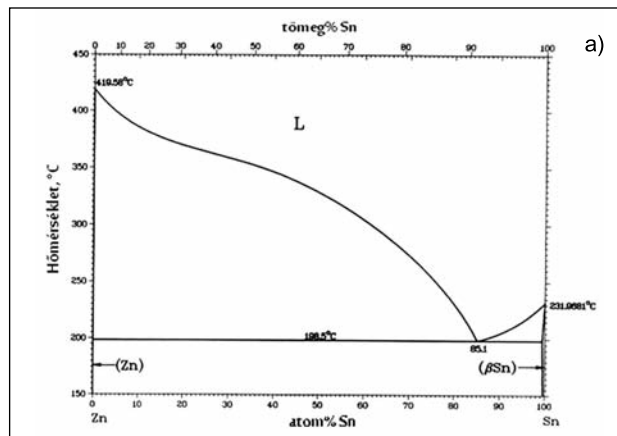
Kísérletek folynak arra, hogy harmadik, ill. negyedik elem hozzáadásával hogyan javítható a forrasztótvözet. Az eredmények szerint Ni ötvöztetésével javult a nedvesítés. A Ni-t mikrométerű por formájában mecha-

nikus ötvöztetéssel adták az alapötvözethez, így kiváló mechanikai tulajdonságot, jobb kúszásállóságot és hőállóságot kaptak [7–9].

2. Kísérletek és eredmények

Ötvözetek összeállítása

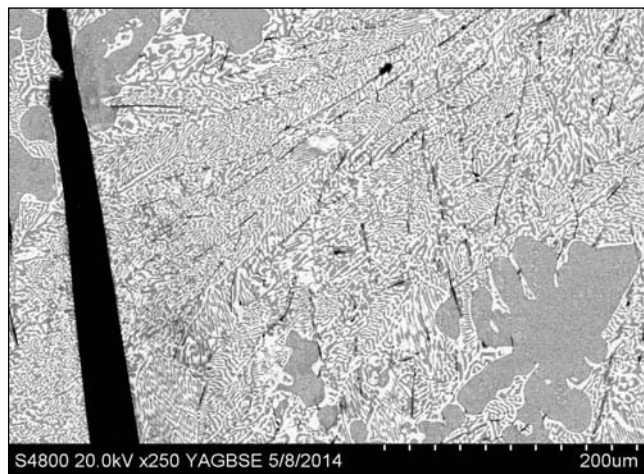
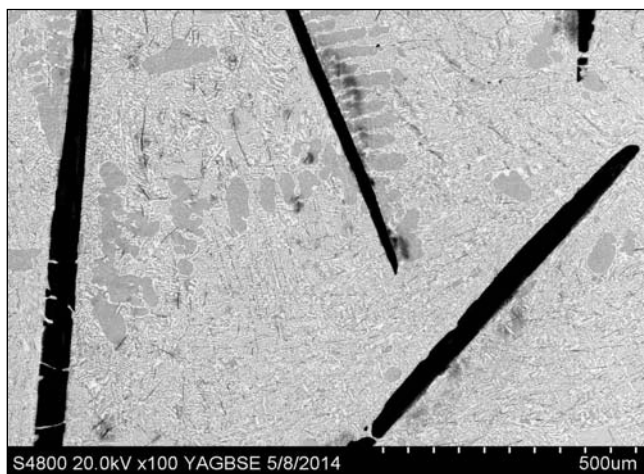
Az eutektikus Sn-Bi összetételű (Sn43-Bi57 (t%)) ötvözetben a bizmutot 1, 3, 5 és 7 t% cinkkel helyettesítve Sn-Bi-Zn ötvözeteket készítettünk indukciós olvasztással a 2. táblázatban látható összetételek szerint. Majd az öntött minták szövetszerkezetét DSC-ben való újraolvasztás után megvizsgáltuk a Zn-tartalom függvényében.



■ 4. ábra. Az Sn-Zn, Bi-Zn és Sn-Bi kétalkotós egyensúlyi fázisdiagramok

Olvasztás

A korábbiakhoz hasonlóan [10] az adagokat alumínium-oxid tégelyben, áramló Ar-védőgáz mellett kemencében olvasztottuk meg. Öntés előtt az olvadékokat megkevertük, hően tartottuk, hogy minél homogénebb legyen. Az olvadékokat 4 mm belső átmérőjű U alakú hőálló üvegcsőbe öntöttük. A megszilárdult ötvözetéről levérve az üvegcsövet, feldaraboltuk a különböző vizsgálatokhoz.



■ 5. ábra. Az SBZn7 ötvözet szövete képe DSC-ben való újraolvasztás és 1 °C/min sebességű hűtés után

DSC-vizsgálat

A leöntött ötvözetekből kb. 3 mm magas darabokat vágunk a DSC (differential scanning calorimeter) vizsgálathoz. A mintákat zárt Al-tégelyben Ar-védőgáz alatt 1 °C/perc sebességgel hevítettük az irodalmi T_L hőmérséklet fölé, majd 10 perc hőn tartás után 1 °C/perc sebességgel lehűtöttük. Az 1 °C/perc sebesség közel egyensúlyi szerkezet kristályosodását teszi lehetővé, az így kialakult szövetszerkezetet, valamint az eredeti öntött szerkezetet mikroszkópiával vizsgáltuk.

A DSC-görbék egy endoterm csúcsot mutatnak minden ötvözetnél hevítéskor (1. ábra), a megolvadás tehát viszonylag rövid hőmérséklet-intervallumban történik, $\Delta T = \sim 10$ °C. Kristályosodáskor az SBZn1 ötvözet kivételével három exoterm csúcsot látunk, ami azt jelenti, hogy az ötvözetek kristályosodása három folyamatban történik. Az SBZn1 ötvözet csak két csúcsot mutat.

Ha a lehűlési folyamatot nézzük, az első exoterm csúcs kezdő hőmérséklete változik a Zn-tartalommal. A Zn-tartalom növekedésével egyre nagyobb hőmérsékleten indul a folyamat. A második és harmadik kristályosodási folyamatot jelző csúcsokat mérési hibán belül ugyanott találjuk.

A Zn-ötvözővel tehát jelentősen megnő egyrészt a likvidusz-hőmérséklet, másrészt a kristályosodás folyamatának hőmérséklet-intervalluma (és így az időintervallum is) az alap Sn-Bi ötvözetéhez képest.

Szövetszerkezet

Szövetszerkezet-vizsgálatot végeztünk az öntött és a DSC-ben újra megolvasztott és kristályosodott mintákon. A két sorozat között a lehűlési sebességben van különbség, hiszen az ötvözetek készítésekor és olvasztáskor egy gyorsabb lehűlés következett be (~ 30 °C/min), mint a DSC-s mérés elvégzésekor (1 °C/min). Ennek a sebességkülönbségnek jelentkeznie kell a szövetszerkezetben.

Az öntött minták szerkezetét a 2. ábra mutatja egy kisebb (250x, 500x-es) és egy nagyobb (1000x-es) nagyítással képen a Zn-tartalom függvényében (visszaszórt elektronnal készült képek). A szövete képeken jól látszik, hogy növekvő Zn-tartalomnál egyre nagyobb mennyiségű és egyre nagyobb méretű fekete tűk találhatók az alapszövetben.

Az energiadiszperzív spektrométer mérésekkel (SEM-EDS) Zn-fázisként azonosíthatjuk ezeket a tűket (3. ábra). Az alapszövet ugyanúgy β -Sn- és Bi-fázisokból áll, mint a kétalkotós Sn-Bi ötvözetekben [10], amelyek kis mennyiségben oldódott cinket tartalmaznak mind az Sn-, mind a Bi-fázisban. A Bi-Zn rendszer sajátossága, hogy olvadákalapotban sem oldja korlátlanul egymást a két ötvöző. Vagyis már olvadákalapotban szétválik nagy Bi-tartalmú és nagy Zn-tartalmú olvadékokra, majd nagyobb Zn-tartalom esetén primer fázisként kristályosodik. A cink önnal és bizmuttal is eutektikus folyamatban fejezi be a kristályosodást, ahol önálló fázisként kristályosodik (4a és b ábra: Sn-Zn és

Bi-Zn egyensúlyi fázisdiagramok). Háromalkotós rendszerben tehát valószínűleg a Bi nagy mennyisége miatt a Zn kristályosodása indult először az olvadékból, majd következett az Sn-fázis kristályosodása dendrites alakban, majd befejeződött az eutektikum (kétfázisú, lemezes szövet) kristályosodásával. Mivel az ön Bi-oldó-képessége is nagyon kicsi, ezért további hűléskor az Sn-fázisból is válik ki Bi (4c ábra). Ezek az apró kiválások láthatók a sötét színű Sn-dendriteken belül. A dendrites Sn és az eutektikum kristályosodását jelzi a két nagyobb exoterm csúcs a DSC-görbéken. Ezek a folyamatok kb. ugyanazon a hőmérsékleten mennek végbe mind a négy ötvözetnél, ~ 131 és 127 °C-on. Az SBZn1 ötvözetben fordul elő a legkisebb mennyiségben a kivált Zn-fázis. Ez olyan kis mennyiség, hogy a DSC-görbén nem is mutatott jelet.

A DSC-ben újra megolvasztott, majd 1 °C/min sebességgel lehűtött minták szövete képen a Zn-tűk méretében és mennyiségében látunk jelentős változást. A lassabb hűlés következtében néhány nagyon nagy, durva, vastag Zn-tű kristályosodott, mellette láthatók nagyon vékony tűk is (5. ábra). Az Sn-Bi alapszövetben az eutektikum fázisainak lemezvastagsága is nőtt a lassabb hűlés miatt. Ezek az eredmények összhangban vannak az irodalomban talált eredményekkel [4–6]. A durvább szerkezet általában rosszabb mechanikai tulajdonságokat eredményez, mint egy finomabb szövet.

3. Összefoglalás

Sn-Bi-Zn ötvözetek kristályosodási tulajdonságait és szövetszerkezetét vizsgáltuk, hogy lehetséges forraszananyagot találjunk az ipar számára. Az Sn-Bi alapötvözethez cinket adagolva vizsgáltuk a szövetszerkezet és a kristályosodási hőmérsékletköz változását az alap ötvözetéhez képest. Az Sn-Bi-Zn ötvözetek DSC-vizsgálata azt mutatta, hogy kristályosodáskor három exoterm csúcs jelenik meg, ami három kristályosodási folyamatot jelez. A Zn önálló fázisként való kristályosodása miatt jelentősen megnőtt a kristályosodási hőmérséklet-tartomány a kétalkotós Sn-Bi-éhoz képest. Ezek az eredmények eltérnek más összetételű ötvözetek vizsgálatának eredményeitől [5]. Növekvő Zn-tartalom egyre vastagabb Zn-lemezek kristályosodását eredményezte, ami rontja az ötvözetek szilárdsági tulajdonságait.

Köszönetnyilvánítás

A kutatómunka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 projekt eredményeire alapozva a TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0019 jelű projekt részeként – az Új Széchenyi Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalom

- [1] Tersztyánszky László: Ólommentes forrasztás http://www.ett.bme.hu/upload/1111567808621.6_6f5e2d929a2427b3c8aaa539b3f5dd0f/0225%20Tersztyanszky%20-%20Olommentes%20forr.pdf
- [2] P. J. Wood, K. L. Nimmo: J. Electron. Mater. 23 (1994) 709-713.
- [3] Y. Cui, X. J. Liu, I. Ohnuma, R. Kainuma, H. Ohtani, K. Ishida: J. Alloys and Comp. 320 (2001) 234-241.

- [4] C. M. Chuang, T. S. Lui, L. H. Chen: J. Mater. Sci. 37 (2002) 191-195.
- [5] Y. S. Kim, K. S. Kim, C. W. Hwang, K. Suganuma: J. Alloys and Comp. 352 (2003) 237-245.
- [6] Jian Zhou, Yangshan Sun, Feng Xue: Journal of Alloys and Compounds 397 (2005) 260-264.
- [7] A. K. Gain, Y. C. Chan, W. K. C. Yung: Mat. Sci. Eng. B 162 (2009) 92-98.
- [8] Ahmed Sharif, Y. C. Chan: Micro-electronic Engineering 84 (2007) 328-335.
- [9] G. Xu, F. Guo, X. Wang, Z. Xia, Y. Lei, Y. Shi, X. Li: Journal of Alloys and Compounds 509 (2011) 878-884.
- [10] Rontó V., Tranta F., Svéda M., Baumli P., Czagány M.: BKL Kohászat 147/2 (2014) 7-12.
- [11] Md. Muktedir Billah, Kazi Mohammad Shorowordi, Ahmed Sharif: Journal of Alloys and Compounds 585 (2014) 32-39.

SZABÓ GÁBOR – MERTINGER VALÉRIA – ZUPKÓ ISTVÁN – MIKÓ TAMÁS – ROÓSZ ANDRÁS

Meleghengerléssel plattírozott többrétegű alumíniumlemezek technológiai vizsgálata

Ebben a tanulmányban háromrétegű plattírozott alumíniumlemezek kötési tulajdonságait vizsgáltuk. Az egyes rétegekben alkalmazott ötvözetek az alábbiak voltak: AlMn1Si0,8 (magötvözet) és AlSi10 (fedőlemez). A kötés kialakítását egy Von Roll gyártmányú kísérleti hengerállványon meleghengerléssel végeztük. A hengerlési hőmérséklet rendre 460, 480 és 500 °C volt. A kötés kialakulásának minősítésére T-peel tesztet alkalmaztunk. A vizsgálatot Instron gyártmányú univerzális anyagvizsgáló berendezésen végeztük. A T-peel teszt jól alkalmazható a kötés erősségének minősítésére, mivel a mért lefejtő erő és az érintkező felületeken kialakult kötés nagysága arányos. A T-peel teszt mellett optikai mikroszkópos és SEM-felvételeket is készítettünk, melyen jellegzetes kötési hibákat kerestünk. A tanulmány célja, hogy modellezzük az iparban használatos technológiát, valamint feltárjunk néhány jellegzetes kötési hibát és javaslatot tegyünk az ezeket létrehozó okokra, valamint a megszüntetésükre. A vizsgálatokat egy – a további felhasználás céljának megfelelő – kiválasztott ötvözetpárra, azonos plattírozási geometria mellett végeztük. Továbbá vizsgálni kívántuk a felületi érdesítés hatását a hevítés előtt, és igazolni, hogy a T-peel teszt alkalmas a kötés erősségének minősítésére.

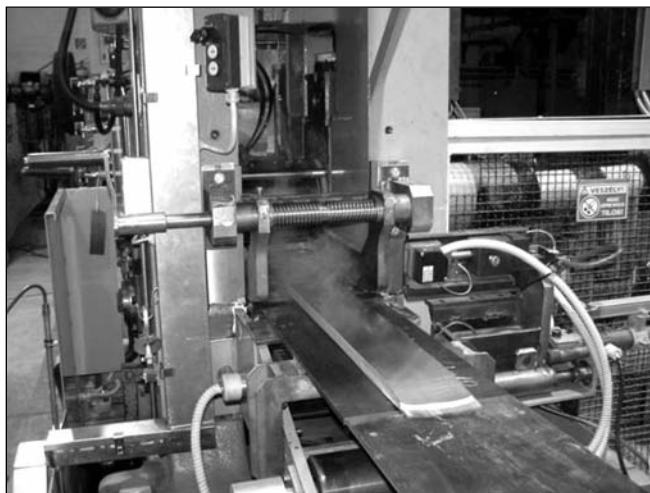
Bevezetés

Az alumínium plattírozási technológiája a világban széleskörűen használ-

latos. Nemcsak a jármű- és repülőgépipar, de a háztartási termékek gyártói is széles körben használják. A technológia lényege, hogy egy adott

tulajdonsággal rendelkező alumíniumlemezre más tulajdonsággal rendelkező réteget visznek fel. Ez a felvitel sok módon történhet. Jelen vizsgálatunkban olyan plattírozó hengerléssel foglalkozunk, ahol a magötvözetre egy alacsony olvadáspontú fedőlemezt viszünk fel. Fontos a számunkra, hogy megértsük a kötés kialakulásának mechanizmusát és a kialakuló hibák okait, mivel ezek a termékek rendkívül innovatívak és magas hozzáadott értékkel rendelkeznek.

A tématerületen jó néhány publikáció megjelent már. Kimondták, hogy a plattírozó hengerlés olyan nyomásos hegesztési eljárás, ahol a kötés a képlékeny alakváltozás hatására jön létre [1-6]. A kötés erőssége pedig az alakváltozás mértékétől függ. Nem alakul ki kötés, míg az alakváltozás el nem ér egy kritikus szintet [1-3, 6]. Ezt a szintet elérve a kötés erőssége



■ 1. ábra. Plattírozó hengerlés



■ 2. ábra. T-peel teszt

egyre nő, míg el nem éri a gyengébb alapanyag szakítószilárdságát [1–2, 6–7]. Ez a kritikus érték minden alapanyagpárosra más és más [1–2, 4]. Azonban a kötés kialakulása nem csak a nyomástól függ. Jelentős szerepet gyakorol rá az érintkező felületek előkészítése, valamint oxidtartalma is [1–2, 4–5, 8]. Korábbi tanulmányunkban vizsgáltuk a kötés kialakulását és annak számszerű minősítését [9]. Jelen tanulmányunk célja, hogy modellezzük az iparban használatos technológiát, valamint feltárjunk néhány jellegzetes kötési hibát és javaslatot tegyünk az ezeket létrehozó okokra, valamint a megszüntetésükre. Továbbá vizsgálni kívántuk a felületi érdesítés hatását a hevítés előtt, és igazolni, hogy a T-peel teszt alkalmas a kötés erősségének minősítésére.

A kísérletek leírása

A vizsgálat során háromrétegű szendvicslemezeket állítottunk elő. A magötvözet AlMn1Si0,8, a fedőlemez AlSi10 volt. A kialakított szendvicslemezek összeállítása során igyekeztünk a szimmetriát megtartani. A kísérleteket a Miskolci Egyetem Fém-tani, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézetében található Képlékenyalakító Laboratóriumban

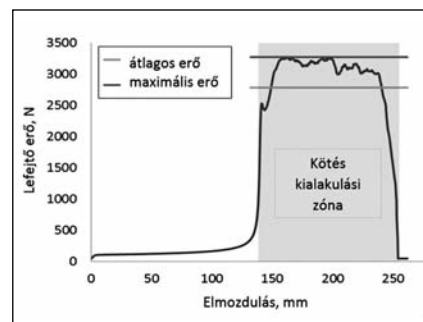
végeztük a Von Roll gyártmányú kísérleti hengerállványon. A hengerállvány kísérlet közben az 1. ábrán látható. Az összeállított háromrétegű pakett geometriai méreteit az 1. táblázat mutatja.

A mintákat az előkészítés során három csoportba osztottuk. Az első csoportban a felületeket zsírtalanítottuk, majd drótkorong segítségével érdesítettük is. A második esetben csak zsírtalanítottuk, a harmadik esetben a felületeket nem kezeltük. A zsírtalanítást MODCLEAN zsírtalanítóval, valamint denaturált szesszel végeztük. A felület érdesítését oldalanként körkörös mozzgatással 60 másodpercig végeztük.

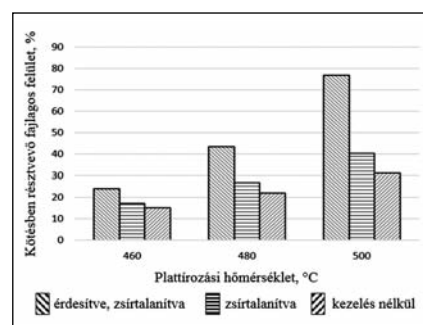
Az így előállított mintákat három különböző hőfokra előmelegítve végeztük a plattírozó hengerlést. A hőmérséklet rendre 460, 480 és 500 °C volt. A hengerlést több szűrásban végeztük. A hengerlési sebesség az első öt szűrásban 5 m/s, a többi szűrásban 12 m/s volt. A darabokat a megfelelő hővezetés érdekében minden szűrás után visszamelegítettük.

A kötés erősségének minősítéséhez a kijelölt szűrások után mintát vettünk. Ezeken a mintákon T-peel tesztet végeztünk, és mértük a szükséges lefejtő erőt. A T-peel teszt összeállítása a 2. ábrán látható. Továbbá minden szűrás után mintát vettünk optikai mikroszkópos és SEM-vizsgálathoz.

Ahhoz, hogy a T-peel tesztnél a befogás biztosít-



■ 3. ábra. A lefejtő erő alakulása



■ 4. ábra. A felületek között kialakuló kötés nagysága

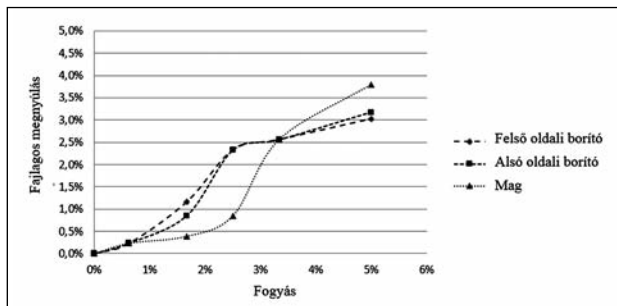
ható legyen, a darabok végén meg kellett akadályozni a kötés kialakulását. Erre a célra kifejlesztettünk egy technológiát, mely szerint teflontartalmú kenőzsírral bevont alumíniumfóliát helyezünk a rétegek közé. Ez a vékony fólia geometriailag nincs hatással a pakett kialakítására, az előmelegítés során ugyan a kenőzsír egy jelentős része kiég, de biztosítható általa az egyes rétegek elválaszthatósága.

Eredmények és megállapítások

A kísérletek elvégzése során a koráb-

1. táblázat. Az egyes rétegek geometriai tulajdonságai

Réteg megnevezése	Hosszúság, mm	Szélesség, mm	Vastagság, mm
Mag	200	50	25,0
Borító	195	50	2,5



■ 5. ábra. Egyes rétegek hosszirányú alakváltozása a fogyasztás függvényében

ban megállapítottakkal összhangban azt tapasztaltuk, hogy az alakváltozásnak el kell érnie egy kritikus értéket, hogy kimutatható kötés alakuljon ki a rétegek között. A lefejtő vizsgálatot elvégezve a 3. ábrán látható diagramot kapjuk. Jól elkülöníthető az a tartomány, ahol a kötés létrejött az egyes rétegek között. Ahhoz, hogy össze tudjuk vetni a T-peel tesztből származó eredményeket az egyes alapanyagok szakítószilárdságaival, a mért erőből feszültséget kell kreálnunk. Feltételezve, hogy a lefejtő vizsgálat során a front egy vonal mentén helyezkedik el, a felület a darab szélességének és a lefejtett fedőlemez vastagságának a szorzatával jól közelíthető. Az így számított lefejtő feszültség és az alapanyag szakítószilárdságának aránya megmutatja, hogy az érintkező felületek hány százalékán alakult ki a kötés. A 4. ábrán a hőmérséklet függvényében látható az egyes rétegek között kialakuló kötés aránya. A kötésben résztvevő fajlagos felület nagyságát a mért lefejtő erő ismeretében számítással határoztuk meg. A teljes felületen kötött rétegek lefejtő vizsgálata során mért erőt 100%-nak tekintettük, míg ahol a lemezek szétesetek a plattírozás után, ott a lefejtő erő 0

volt. Mivel a mért erő nagysága arányos a kötésben résztvevő fajlagos felület nagyságával, az a mért erőből meghatározható.

Továbbá azt tapasztaltuk, hogy ha kötés szemmel láthatóan nem alakul ki az első néhány szúrásban, akkor az

alakváltozást bármikorára is választva (a technológiai korlátok betartásával), a rétegek között kötés nem alakítható ki. Ezért nagyon fontos az első szúrásokban alkalmazott hengerlési technológia szigorú betartása. Megállapítottuk, hogy ha az első néhány szúrás utáni szúrásokban alkalmazott alakváltozások túl nagyok, az a kialakult kötésre negatívan hat. Ez a korábban publikált szakirodalmi megállapításokkal azonban ellentétes, ezért ez a tény további vizsgálatokat tett szükségessé.

Tapasztalataink szerint kb. 2%-os alakváltozás mellett alakul ki a legjobb fajlagos felületű kötés. Ennél kisebb és nagyobb alakváltozások esetén is csökken a kialakuló kötési szilárdság, és a következő néhány szúrás után a rétegek leválnak egymásról. Ennek oka, hogy az egyes rétegek különböző hosszirányú alakváltozást szenvednek a hengerrésben. Az 5. ábrán látható az egyes rétegek hosszirányú alakváltozása az egyes szúrásokban alkalmazott fogyasztás függvényében.

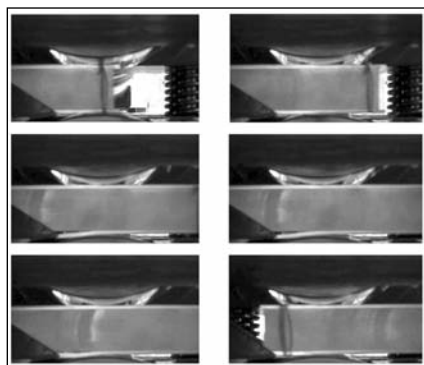
Megállapítottuk azt is, hogy a kötés kialakulása abban az esetben tekinthető a legjobbnak, ha az érintkező, de még nem kötött felületek hosszirányú alakváltozása jelentősen eltér, azon-

ban a részleges kötés kialakulása után az egyes rétegek hosszirányú alakváltozását azonos értéken célszerű tartani, különben a már részben kötött fedőlemez megnyúlása feltorlódik, és felszakítja a fedőlemezt a magról. Ilyen hullám látható a 6. ábrán.

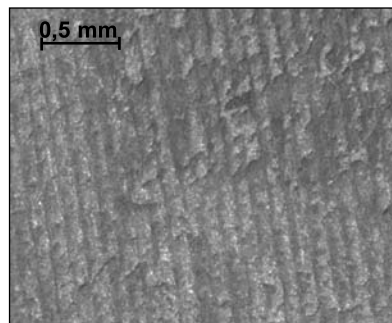
A tanulmány másik célja, hogy produkáljunk és megvizsgáljunk néhány jellegzetes kötési hibát, mely az iparban sajnos igen gyakran jelentkezik. Ilyen hiba például a buborékos vagy hólyagos késztermék, ami azt jelenti, hogy a vékonyra hengerelt plattírozott lemezek réteghatárain kisméretű légbezáródások jelennek meg. Ennek oka a kezdeti technológiában keresendő, ha nem megfelelő a felület előkészítése, vagy túl mély a felületi érdesítés az érintkező felületek között, ezért légbuborékok jelenhetnek meg, melyek a továbbhengerezés során nem tudnak távozni. Túl alacsony plattírozási hőmérséklet esetén kötés csak ott alakul ki, ahol érdeességcsúcs érdeességcsúccsal találkozik. A 7. ábrán látható, hogy 460 és 500 °C-on plattírozott lemezek esetén lefejtő vizsgálat után a felületi érdeességvonalak mennyire látszanak vagy eltűnnek.

Megállapítható, hogy nem tökéletes előmelegítés során, vagy bármilyen technológiai rendellenesség esetén a darabok felülete túlpuhul, ezáltal jelentősen csökken a kötésben kialakuló felület nagyságát. Amennyiben az érintkezés nem tökéletes, a beszoruló levegő a végtermékben buborék vagy hólyag formájában megjelenik.

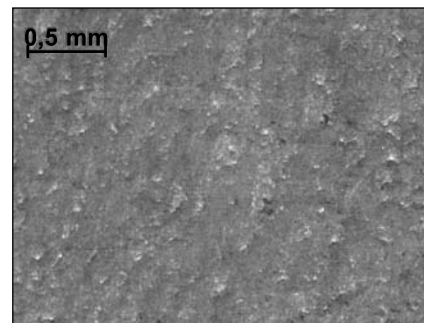
A 8. ábrán ugyanilyen légbezáródásnak a nyomait látjuk optikai mikroszkópos és SEM-felvételek segítségével.



■ 6. ábra. Feltorlódó alakváltozás miatt felszakadó alsó fedőlemez

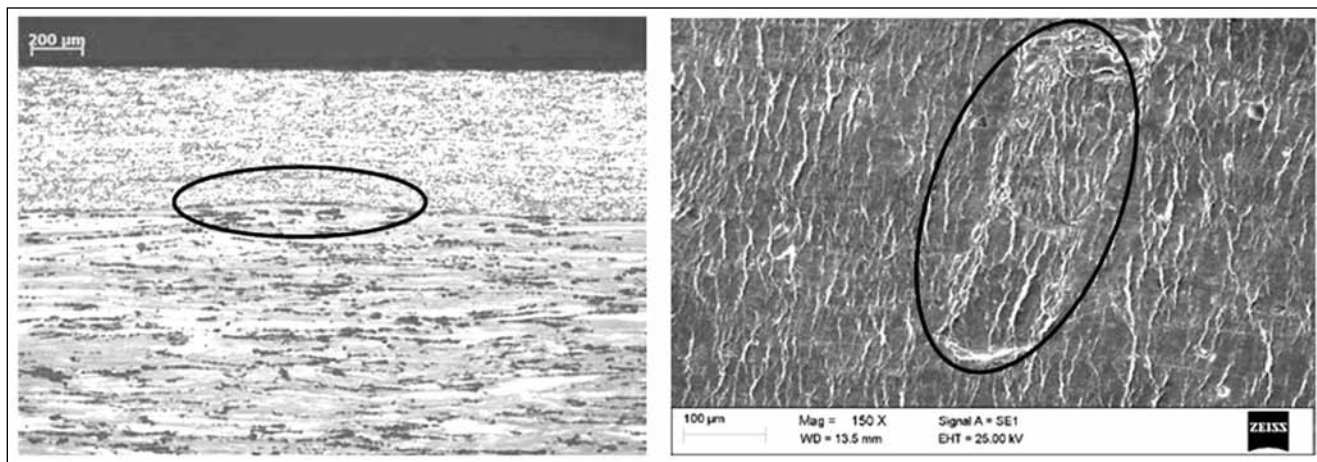


a) 460 °C



b) 500 °C

■ 7. ábra. Felületi érdeességvonalak lefejtő vizsgálat után, különböző hőmérsékleten plattírozott lemezek esetén



■ 8. ábra. Légbezáródás nyomai és nem megfelelően hegedt felület

Összefoglalás

Kísérleteinkből megállapítható, hogy a Von Roll kísérleti hengerállvány alkalmas az ipari technológia kísérleti modellezésére. Az elért eredmények bizonyítják, hogy a kialakuló kötésre jelentős hatással van a kiinduló felületek állapota, de még nagyobb jelentőséggel bír a hengerlési hőmérséklet. A korábbi szakirodalmi megállapításokkal ellentétben a kötési szilárdság nagysága ennél az anyagpárosításnál egy kritikus alakváltozást elérve nem nő tovább, és az eltérő vízszintes megnyúlásnak köszönhetően a kötés a hengerrésből kilépve felszakad.

A jellemző felületi hibák jelentős része már a kezdeti lépésekben kialakul, de feltárni csak a továbbhengerelt lemezek esetében van lehetőség. Ez azonban az utólagos beavatkozást nem teszi lehetővé, ezért nagyon fontos a kezdeti hengerlési technológia szigorú betartása. Ki kell emelni, hogy a cikkben leírt megállapítások

csak az adott anyagpárra és csak az adott plattírozási geometria mellett érvényesek. Minden más anyag vagy vastagságarányok esetén a megállapítások nem feltétlenül helytállóak.

Köszönetnyilvánítás

A cikkben ismertetett kutatómunka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 projekt eredményeire alapozva a TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0019 jelű projekt részeként – az Új Széchenyi Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalom

- [1] Bay N.: Cold welding, Part I, Characteristic, bonding mechanisms, bond strength. Met Construct (1986) 369–372.
- [2] Eizadjou M., Danesh Manesh H., Janghorban K.: Mechanism of warm and cold roll bonding of aluminum alloy strips, Materials and Design

(2009) 4156–4161.

- [3] Zhang W., Bay N.: Cold welding-theoretical modeling of weld formation. Weld J (1997) 417–420.
- [4] Wright P. K., Snow D. A., Tay C. K.: Interfacial conditions and bond strength in cold pressure welding by rolling. Met Technol. (1978) 24–31.
- [5] Wu H. Y., Lee S., Wang J. Y.: Solid state bonding of iron-base alloy, steel-brass and aluminum alloy. J Mater Process Technol (1998) 173–179.
- [6] Danesh Manesh H., Karimi Taheri A.: Study of mechanisms of cold roll welding of aluminum alloy to steel strip. J Mater Sci Technol (2004) 1064–1068.
- [7] Danesh Manesh H., Karimi Taheri A.: An investigation of deformation behavior and bonding strength of bi-metal strip during rolling. Mech Mater (2005) 531–542.
- [8] Zhang W., Bay N.: Cold welding-experimental investigation of the surface preparation methods. Weld J (1997) 326–330.
- [9] Szabó G., Mertinger V.: Technological investigation of plated aluminium sheets. Materials Science Forum Vol. 729 (2013) pp 482–486.

A 2015/3. szám szerzőinek szakmai életrajza

Dr. Baumli Péter anyagmérnök (2002), vegyész (2009), PhD (2009). Jelenleg a Miskolci Egyetem (a továbbiakban: ME) Fémtani Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézetében egyetemi docens, valamint a Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft. Mérnöki Divíziójánál kutató. Kutatási területe a fémmátrixú kompozitok fejlesztése, határfelületi jelenségek vizsgálata, nanotechnológiák, nanoanyagok fejlesztése.

Dr. Benke Márton 2004-ben okl. anyagmérnök diplomát, majd 2010-ben PhD-oklevelet az ME Műszaki Anyagtudományi Karán szerzett. Jelenleg az ME Fémtani, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézetében dolgozik tudományos munkatársként. Főbb kutatási területei: erózióval szemben növelt ellenállású szelektív forrasztószerszám-anyag fejlesztése; ónalapú, többalkotós forrasztóanyagok fémtani folyamatainak vizsgálata, alakemlékező ötvözetek,

röntgendiffrakciós fázisazonosítás, maradó feszültség meghatározás röntgendiffrakciós módszerrel, TWIP-acélok, textúravizsgálatok.

Dr. Gács Zoltán 1974-ben szerzett kohómérnöki diplomát a Nehézipari Műszaki Egyetemen, kohásztechnológia szakon. 1974-től tudományos ösztöndíjas gyakornok, 1975-től tanszéki mérnök, 1979-ben szerezte doktori fokozatát, 1993-ban lett a műszaki tudomány kandi-

dátusa. 1988-tól egyetemi adjunktus, 1994-től egyetemi docens, 2004-től az ME Anyagtudományi Intézetének egyetemi tanára, s az MTA doktora. Érdeklődési területei: fémkompozitok előállítása, szerkezetvizsgálat, számítógépes képfeldolgozás és képelemzés.

Dr. Géber Róbert anyagmérnök diplomáját 2007-ben, PhD-fokozatát 2013-ban szerezte. Az ME Kerámia- és Polimermérnöki Intézetének egyetemi tanársegédje. Kutatási területe az aszfaltkeverékek és alapanyagaik anyag-szerkezeti és reológiai tulajdonságainak vizsgálata.

Gyenes Anett okl. kohómérnök, az ME Kerpely Antal Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola PhD-hallgatója. BSc-oklevelét 2010-ben anyagmérnök szakon, hőkezelő-képlékenyalakító szakirányon, míg MSc-diplomáját 2012-ben kohómérnök szakon, öntész-minőségirányítási szakirányon szerezte. Jelenleg az ME Műszaki Anyagtudományi Karának munkatársa, kutatási területe ólommentes forraszanyagok fejlesztése.

Gyökér Zoltán anyagmérnök BSc-hallgató az ME Műszaki Anyagtudományi Karán, hőkezelő-képlékenyalakító szakirányon. Tudományos diákköri kutatómunkája keretében Sn-Ag-Cu ólommentes forraszanyagokkal végzett kísérleteket és vizsgálatokat.

Dr. Kékesi Tamás okl. kohómérnök, az MTA doktora és a japán Dr. Eng. tudományos fokozat birtokosa. Korábban két évig dolgozott a Lenin Kohászati Művek Kombinált Acélművében, valamint öt évig volt ösztöndíjas kutató a Tohoku Egyetemen, Japánban. Fő területe a hidro-elektrometallurgiai fémkinyerés, a fémolvadék-kezelés és a nagytisztaságú fémek előállítása. Jelenleg az ME Metallurgiai és Öntészeti Intézetének igazgatója, emellett ellátja az egyetem tudományos és nemzetközi rektorhelyettesi feladatait is.

Lassú Gábor kohómérnök MSc-diplomát szerzett az ME Műszaki Anyagtudományi Karán 2011-ben. 2012 szeptemberétől a Kerpely Antal Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola nappali tagozatos hallgatója. Jelenlegi kutatási témája a tűzzománc-acél kötés vizsgálata. Tudományos segédmunkatársként dolgozik az ME MAK Metallurgiai és Öntészeti Intézet Kémiai Metallurgiai és Felülettechnikai Intézeti Tanszékén.

Lipusz Dóra okl. anyagmérnök, munkahelye a Robert Bosch Kft. Budapesten, beosztása rendszermérnök. Kutatási területe: egyenáramú motorok szénkefe anyagának fejlesztése.

Dr. Mertinger Valéria 1990-ben az ME Kohómérnöki Karán fémalakító szakon, fémtani ágazaton, 1994-ben a Kossuth Lajos Tudományegyetemen mérnökfizikus szakon szerzett oklevelet. PhD-fokozatát 1998-ban szerezte az ME-n. A Műszaki Anyagtudományi Kar egyetemi tanára. A Kerpely Antal Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola törzstagja.

Mikó Tamás 2011-ben MSc-diplomát, 2014-ben PhD-abszolutóriumot szerzett az ME Műszaki Anyagtudományi Karán. Jelenleg a Fémtani, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet tudományos segédmunkatársa. Fő kutatási területe: a mechanikai anyagvizsgálat, szakítóvizsgálat, zömítővizsgálat, hajlítóvizsgálat, keménységmérés, ütővizsgálat.

Dr. Nagy Erzsébet 2000-ben szerzett anyagmérnök diplomát az ME Műszaki Anyagtudományi Karán, 2007-ben PhD-oklevelet szerzett. Jelenleg az MTA-ME Anyagtudományi Kutatócsoportban dolgozik tudományos munkatársként. Főbb kutatási területei: alakváltozás indukálta martenzites átalakulások TRIP- és TWIP-acélokban, röntgendiffrakciós fázisazonosítás.

Dr. Rontó Viktória okl. kohómérnök. 1994-től PhD-hallgatóként tanult az ME Fémtani Tanszékén, később ugyanitt dolgozott tanársegédként, majd adjunktusként. 2001-ben szerezte doktori oklevelét. 2007-től az MTA Anyagtudományi kutatócsoportjában dolgozik, ahol Cu-alapú, 2012-től Ti-alapú amorf fémek kutatása a fő területe.

Dr. Roósz András okl. kohómérnök, egyetemi tanár, az MTA rendes tagja, az MTA Miskolci Egyetemen lévő Anyagtudományi Kutatócsoport vezetője. 1983-tól a műszaki tudomány kandidátusa, 1994-től a műszaki tudomány doktora. Fő kutatási területei: fém-anyagok fázisátalakulásai, kristályosodás, modellezés, űranyag-technológia.

Sályi Zsolt 2014-ben szerzett BSc anyagmérnök diplomát az ME Műszaki Anyagtudományi Karán. Jelenleg ugyanott MSc-hallgató. Kutatási területe: erózióval szemben növelt ellenállású szelektív forrasztószerszám-anyag fejlesztése.

Dr. Simon Andrea 2005-ben szerzett anyagmérnök diplomát az ME Műszaki Anyagtudományi Karán, 2010-ben PhD-fokozatot szerzett. Jelenleg a ME Kerámia- és Polimermérnöki Intézetben egyetemi adjunktus. Kutatási területe: fémkompozitok, mázak.

Dr. Svéda Mária 2000-ben szerzett az ME Anyag- és Kohómérnöki Karán anyagmérnök diplomát anyagminősítő szakirányon. Az MTA Miskolci Egye-

temen lévő Anyagtudományi Kutatócsoportjában tudományos munkatárs. 2007-ben PhD-fokozatot szerzett. Jelenleg fő kutatási területe az elektromágneses keverés hatása a peritektikus ötvözetekre.

Szabó Gábor 2006-ban gépgyártás-automatizálási szakirányon végzett az ME Gépészmérnöki Karán, majd 2009-ben szerzett anyagmérnöki diplomát a Műszaki Anyagtudományi Kar hőkezelő és képlékenyalakító szakirányán, anyag-informatikai ágazaton. Jelenleg a Fémtani, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet tudományos segédmunkatársa. Fő kutatási területe a plattírozott alumíniumlemezek gyártástechnológiájának optimalizálása.

Téglás Noémi anyagmérnök BSc-hallgató 2015-ben végez az ME Műszaki Anyagtudományi Karán, hőkezelő-képlékenyalakító szakirányon. Tudományos diákköri kutatómunkája keretében ólommentes forraszanyagok fejlesztése területén folytatott kísérleteket és vizsgálatokat.

Terjék Andrea anyagmérnök BSc-hallgató az ME Műszaki Anyagtudományi Karán, hőkezelő-képlékenyalakító szakirányon. Tudományos diákköri kutatómunkája keretében többalkotós Sn-Ag-Cu alapú ólommentes forraszanyagokkal végzett kísérleteket és vizsgálatokat.

Dr. Török Tamás okl. kohómérnök, az MTA doktora, az MTA Metallurgiai Tudományos Bizottságának elnöke. Szakmai és oktatói tevékenységében az oldatkémiai (hidrometallurgia), a kémiai metallurgiai és egyes felülettechnikai és korróziós területek művelése a meghatározó. Nemzetközi (ASM, TMS, EFC) és hazai mérnökegyesületekben (HUNKOR, GTE, MKE, OMBKE) is aktívan tevékenykedik. Jelenleg az ME Metallurgiai és Öntészeti Intézet Kémiai Metallurgia és Felülettechnika Intézeti Tanszékén dolgozik mint egyetemi tanár.

Dr. Tranta Ferenc vas- és fémkohász szakos kohómérnök, a műszaki tudományok kandidátusa. 1959 óta dolgozik az ME Anyagtudományi Intézetében, ill. jogelődjében, ahol tanársegédtől tanszékvezetőig, majd a kar dékánjáig különböző feladatokat látott el. Jelenleg részfoglalkozásban az Intézethez tartozó MTA kutatócsoportban tudományos főmunkatárs. Oktatási területe elsősorban a vasötvözetek fémtana, hőkezelése. Kutatási területe a különböző fémtani vizsgálatok alkalmazása.

Dr. Zupkó István 1971-ben okl. kohómérnökként végzett a Nehézipari Műszaki Egyetem kohómérnöki karán. Jelenleg a Miskolci Egyetem Fémtani, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézetének nyugalmazott egyetemi docense.

MEKLER CSABA – BARANYAI VIKTOR – DEZSŐ ANDRÁS – TRAMPUS PÉTER – KRESZ NORBERT – KAPTAY GYÖRGY

A szemcsehatár-energia, a szemcsehatár-szegregáció és a szemcsehatár-átalakulás modellezése többkomponensű ötvözetekben

A szerzők bemutatják, hogyan lehet a Butler-egyenletet úgy kiterjeszteni, hogy segítségével képesek legyünk leírni többkomponensű polikristályos ötvözetek szemcsehatárainak határfelületi energiáját és a szemcsehatár-szegregációt, illetve a szemcsehatáron esetenként megjelenő szegregációs átalakulást. A szemcsehatár szegregációs átalakulás egy elsőrendű, határfelületi átalakulás, ami olyan ötvözetekben lép fel, melyekben a komponensek erősen taszítják egymást, és ezért nagyobb szegregáló komponens koncentrációknál szilárd fázisú fázis-szétválás is fellép.

1. Bevezetés

A polikristályos anyagok tulajdonságait nagyrészt a szemcsehatárok relatív orientációja, szerkezete és határfelületi energiája határozza meg [1–6]. Többkomponensű anyagokban a helyzet tovább bonyolódik a szemcsehatár-összetétellel, ami ugyan függvénye a szemcsék térfogati összetételének, de általában nem azonos azzal. Általában az ötvözet fő komponensénél kisebb kohéziós energiájú (vagy ami közel ugyanaz: kisebb olvadáspontú) komponensre

jellemző, hogy a határfelületre szegregálódik, azaz határfelületi koncentrációja lényegesen nagyobb, mint a térfogati koncentrációja. Ez egyrészt „a köz érdekében” történik, hiszen ezzel csökken a szemcsehatár határfelületi energiája, ami az ötvözetet stabilabb termodinamikai állapotba hozza, másrészt azonban a kis kohéziós energiájú (gyenge) komponensek koncentrációja az egyébként erős szemcsék határfelületén a teljes rendszer gyengüléséhez vezet. Célunk ebben a cikkben egy olyan általános módszer bemutatása, ami

alkalmas a szemcsehatár-energiák, a szegregáció és (ha szükséges), a szemcsehatár szegregációs átalakulás számítására is. Ennek a módszernek gyakorlati haszna is van, hiszen segít előre látni például azt, hogy az atomerőművek reaktortartályait alkotó ferrites acélban oldott foszfor hogyan, milyen mértékben és milyen sebességgel szegregálódik a ferritszemcsék határfelületére, és ott potenciálisan milyen kárt okoz [7].

2. A szakirodalom áttekintése

A szemcsehatár egy a sokfajta határfelület között, így érvényesek rá az egyszerűbben mérhető és modellezhető folyadék–gáz határfelületre megállapított általános törvényszerűségek. Történelmileg az első ilyen az ún. Gibbs-féle adszorpciós egyenlet volt [8]:

$$d\sigma = -\sum_i \Gamma_i \cdot d\mu_i \quad (1)$$

ahol σ (J/m^2) a többkomponensű oldat felületi feszültsége, Γ_i (mol/m^2) az i komponens felületi többlete, μ_i (J/mol) az i komponens (térfogati) kémiai potenciálja. Gibbs a felületi többletet ugyan nem definiálta egyenlettel, de mi a közérthetőség kedvéért a következő definíciót használjuk:

$$\Gamma_i \equiv \frac{x_{i,s} - x_i}{\omega_i} \quad (2)$$

ahol x_i (dimenzió nélküli) az i komponens móltörtje az oldat térfogatában, $x_{i,s}$ (dimenzió nélküli) az i komponens móltörtje az oldat felületén, ω_i (m^2/mol) az i komponens moláris felülete; ez utóbbi mennyiség arra a kérdésre adja meg a választ, hogy

Mekler Csaba a Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Karán végzett kohómérnök szakon, energiagazdálkodás ágazaton és metallurgia és öntészet szakirányon 2008-ban. Azóta a Bay Zoltán Nonprofit Kft. tudományos munkatársa. Jelenleg a Korszerű Anyagok Osztályán dolgozik. Kutatási területei: termodinamikai modellezés, fém-mátrixú kompozitok, fémhabok, anyagvizsgálat.

Baranyai Viktor Zsolt a Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Karán végzett kohómérnök szakon, energiagazdálkodás ágazaton, metallurgia szakirányon 2005-ben. 2008-ig doktorandusz volt, majd az ME Energia- és Minőségügyi Intézetében és az Uni-Flexys Kft.-nél dolgozott. 2013 szeptemberétől a Bay Zoltán Nonprofit Kft. tudományos munkatársa a Korszerű Anyagok Osztályán. Főbb feladatai: anyagfejlesztés, anyagvizsgálat, modellezés.

Dezső András szakmai életrajzát 2015/2. számunkban közzétettük.

Trampus Péter szakmai életrajzát 2014/5-6. számunkban közzétettük.

Kresz Norbert Róbert okleveles fizikusként végzett, majd 2009-ben PhD-fokozatot szerzett. Jelenleg MVM Paksi Atomerőmű Zrt. Anyagvizsgálati Osztályán laboratóriumvezető.

Kaptay György szakmai életrajzát 2015/2. számunkban közzétettük.

vajon mekkora felületet foglal el 1 mólnyi, monoatomos (monomolekuláris) rétegbe kiterített i komponens? A (2) egyenletből láthatjuk, hogy a Gibbs-féle felületi többlet akkor pozitív, ha az adott komponensnek nagyobb a móltörtje az oldat felületén, mint annak térfogatában; az ilyen komponenszt nevezzük „felületaktív” komponensnek, és ez az a komponens, amelyik a felületre szegregálódik (valójában persze nem „aktív” csak gyenge és nem magától szegregálódik, hanem az erősebbek szorítják ki a felületre). A (2) egyenletből azt is látjuk, hogy a felületi többlet lehet negatív is, ha az adott komponensből kevesebb van az oldat felületén, mint az oldat térfogatban. Ezek a pozitív és negatív értékek a teljes oldatra nézve kiegyenlítik egymást, hiszen ha a felületi többletek és moláris felületek szorzatait minden komponensre összeadjuk, akkor a (2) egyenlet szerint zérust kapunk, ugyanis mind a térfogati, mind a felületi móltörtek összege definíció szerint 1.

A Gibbs-féle adszorpciós egyenlet (1) Gibbs sok zseniális meglátása közül az egyik. Sajnos azonban ez egy differenciálegyenlet, ezért a közoktatásban nehezen tanítható. Ezen túl önmagában a Gibbs-féle adszorpciós egyenlet haszontalan, ugyanis két ismeretlent tartalmaz: a felületi feszültséget és felületi összetételt. Emiatt az (1) egyenlet csak akkor használható a felületi feszültség modellezésére, ha összekapcsoljuk egy másik, tőle független egyenlettel, amely a felületi és térfogati összetételeket köti össze egymással. Ilyen egyenletet először *Langmuir* vezetett le [9], ideális oldatként kezelve a felületi réteget. Az ötvözetek szemcsehatár-energiájának becslésére ma a szakirodalom jellemzően a Gibbs-féle adszorpciós egyenlet és a *Langmuir*-egyenlet kombinációját használja. Érdekes módon ezt kevesen tudják, mivel a szemcsehatár-szakértők ezt az egyenletet *McLean* 1956-os könyvére vezetik vissza [10], aki a „saját” egyenletét a Gibbs- és a *Langmuir*-egyenletek összekapcsolásával „alkotta” (ez az egyenlet *McLean* idejében kb. 30 éve ismert volt a kémikusok körében). *McLean* ezzel átvette *Langmuir* ideális oldatokra kidolgo-

zott felületmodelljét is, és ezért modellje szerint egy komponens térfogati és szemcsehatár koncentrációi között csak szakadásmentes kapcsolat képzelhető el. Ezzel megfosztotta mind önmagát, mind mai követőit attól, hogy felismerje és megértse a szemcsehatár szegregációs átalakulás mibenlétét. Ezért ez utóbbi jelenség ma jellemzően ismeretlen a szakirodalomban. Persze azok se jártak jobban, akik letértek erről az útról, mivel az irodalmat és a folyóiratokat ma is a lelkes *McLean*-követők uralják, akik az újnak tűnő nézetek publikálása elől elzárkóznak. No de nézzük ennek a jó oldalát: ennek a helyzetnek és e folyóirat felvilágosult szerkesztőinek köszönhető, hogy a lenti gondolatok először a BKL Kohászati hasábjain jelennek meg.

A félreértések elkerülése érdekében azonban tisztázzuk: a maga idejében *McLean* jelentős dolgot tett azzal, hogy az addig csak a kolloid-kémiában ismert Gibbs- és *Langmuir*-egyenletek esszenciáját beemelte az anyagtudományba. A hibát nem *McLean*, hanem kései vak követői követik el azzal, hogy 60 évvel *McLean* könyve után görcsösen ragaszkodnak az ideális felületi modellhez és ezzel gátolják tudományáguk további fejlődését.

3. Az új megközelítés

Az új megközelítés gyökerei messzire nyúlnak vissza, *Butler* 1932-es cikkéig [11]. *Butler* egy nagyon nehezen érthető és nyakatekert cikket írt, amit emiatt akkor is, azóta is jobbra semmibe vesznek, különösen, ha annak elfogadottságát Gibbs, *Langmuir* és *McLean* egyenleteihez hasonlítjuk. Ennek ellenére *Butler* egyenlete egyszerű és zseniális:

$$\sigma = \sigma_i \quad (3)$$

ahol σ_i (J/m²) az i komponens parciális felületi feszültsége. Javasoljuk a T. Olvasónak, hogy ne merüljön el *Butler* levezetésének részleteiben, hanem koncentráljon a következő logikai levezetésre. Először is definiáljuk a parciális felületi feszültséget (amit *Butler* elfelejtett megtenni) úgy, mint az i komponens által elfoglalt felületrész felületi feszültségét. Aztán emlékezzünk a *Marangoni*-áramlásra [12], ami akkor lép fel, ha a felület

mentén felületi feszültségkülönbség (gradiens) van. A *Marangoni*-áramlás célja, hogy ezt a nemegyensúlyi állapotot megszüntesse; a felületi *Marangoni*-áramlás (mint minden áramlás) addig zajlik, amíg meg nem szűnik az őt létrehozó hajtóerő, azaz az őt hajtó nemegyensúlyi állapot. A hőáramlás esetén ez a hajtóerő két pont hőmérséklet-különbsége, a *Marangoni*-áramlás esetén pedig ez a hajtóerő két felületi pont felületi feszültségkülönbsége. Tehát egy felület akkor van egyensúlyban, ha minden pontjának felületi feszültsége azonos. Márpedig egy oldat felületének különböző részei különböző komponensek fedik. Innen logikusan következik, hogy egy oldat felülete csak akkor lehet egyensúlyban, ha annak felületi feszültsége megegyezik az oldat összes komponensének parciális felületi feszültségével, lásd (3) egyenlet. Feltehetőleg minden T. Olvasó belátja, mennyivel emberbarátabb a (3) egyenlet az (1) differenciálegyenlethez képest. Ami a (3) egyenlet egyszerűségét illeti: nehéz lenne olyan egyenletet találni, ami az egyenlőségjelen kívül a (3) egyenletben szereplő három karakternél kevesebbet tartalmazna (az ugyanis már nem egyenlőség lenne, hanem azonosság, pl. $a \equiv b$).

Butler (3) egyenlete mérnöki számításokra még nem alkalmas. Azonban a parciális felületi feszültség a következő termodinamikai egyenlettel írható le [11, 13]:

$$\sigma_i = \sigma_i^o + \frac{R \cdot T}{\omega_i} \cdot \ln \frac{x_{i,s}}{x_i} + \frac{\Delta G_{i,s}^E - \Delta G_i^E}{\omega_i} \quad (4)$$

ahol σ_i^o (J/m²) a tiszta i komponens felületi feszültsége, $R = 8,3145$ (J/mol·K) az egyetemes gázállandó, T (K) az abszolút hőmérséklet, $\Delta G_{i,s}^E$ (J/mol) az i komponens többlet oldódási Gibbs-energiája a térfogati fázisban annak összetétele mellett, $\Delta G_{i,s}^E$ (J/mol) az i komponens többlet oldódási Gibbs-energiája a felületen annak összetétele mellett. A (3–4) egyenletek összekapcsolásával meghatározható egy oldat felületi összetétele és felületi feszültsége is. Ehhez persze először a (4) egyenletet fel kell tölteni az adott oldatot jellemző fizikai mennyiségekkel: ismerni kell az összes komponens felületi feszültségét és moláris felületét, illetve a többlet Gibbs-energia hőmérséklet- és

koncentrációfüggését a térfogati fázisban és a felületi rétegben. Tegyük fel, hogy mindez ismert egy K-komponensű oldatra. Ekkor a parciális felületi feszültségek között (K-1) független egyenlet írható fel oly módon, hogy a (4) egyenlettel modellezett parciális felületi feszültség képleteket a (3) egyenlet értelmében egyenlővé tesszük egymással. Most rögzítsük le egy számítási kör erejéig az oldat térfogati összetételét és a hőmérsékletet. Ekkor a (K-1) független egyenletből (K-1) komponens felületi móltörtjét határozhatjuk meg, míg a K-adik komponens felületi móltörtje az anyagmérlegből következik, miszerint a felületi móltörtek összege 1. Az így kiszámolt értékeket visszahelyettesítve a (4) egyenletbe, kiszámítható az összes komponens parciális felületi feszültsége, melyekből a (3) egyenlet szerint következik az oldat felületi feszültsége is. Ugyanezt megismételve különböző értékeken rögzített térfogati összetétel és hőmérséklet mellett, számíthatóvá válik a K-komponensű oldat felületi feszültségének koncentráció- és hőmérsékletfüggése. A fenti egyenleteknek általában nincs analitikai megoldásuk, ezért azokat numerikusan oldjuk meg. Ezért a különböző komponensek parciális felületi feszültségei minimálisan különböznek egymástól, ami a numerikus megoldás hibája miatt van. Analitikai megoldása a (3–4) egyenleteknek csak egyszerűsített esetben van [13], de ez most számunkra érdektelen, hiszen ezzel visszajutnánk a Langmuir- és McLean-egyenletek túlegyszerűsített formájához.

A Butler-egyenlet fenti levezetése semmilyen specifikumot nem tartalmaz, azaz a (3–4) egyenletek azonosan érvényesek mindenfajta határfelületre, beleértve a szemcsehatárokat is. Ezért szerzők a (3–4) egyenletet sikeresen használták folyadék/gáz határfelületek felületi fázisátalakulásának modellezésére [14–17], folyadék/folyadék [18–19], koherens szilárd/szilárd [19], illetve folyadék/szilárd határfelületekre is [20], ami lehetővé tette a peremszög modellezését is [20]. Most használjuk a (3–4) egyenleteket egy polikristályos, kétkomponensű (A-B) szilárd oldat szemcsehatár-energiájának modellezésére. A B komponens térfogati (szemcsén

belüli) móltörtjét jelöljük x -szel, szemcsehatár móltörtjét pedig jelöljük x_{GB} -vel (ahol GB = grain boundary = szemcsehatár). Ekkor a (4) egyenlet a B komponensre a következő formában írható fel:

$$\sigma_B = \sigma_B^o + \frac{2 \cdot R \cdot T}{\omega_B} \cdot \ln \frac{x_{GB}}{x} + \frac{2}{\omega_B} \cdot (\Delta G_{B(GB)}^E - \Delta G_B^E) \quad (5)$$

ahol a 2-es szorzók oka az, hogy a szemcsehatárt (szemben a folyadék szabad felületével) két kondenzált fázis veszi körül. Az egyszerűség kedvéért használjuk a reguláris elegymodellt, melynek értelmében a többlet Gibbs-energiák képletei:

$$\Delta G_B^E = \Omega \cdot (1 - x)^2 \quad (6a)$$

$$\Delta G_{B(GB)}^E = \beta \cdot \Omega \cdot (1 - x_{GB})^2 \quad (6b)$$

ahol Ω (J/mol) a komponensek közötti kölcsönhatási energia a reguláris elegymodellben (ha $\Omega = 0$, akkor az oldat ideális, ha $\Omega > 0$, akkor a komponensek taszítják egymást, míg ha $\Omega < 0$, akkor a komponensek vonzzák egymást), β (dimenzió nélküli) a szemcsehatáron érvényes koordinációs szám és a szemcsén belül érvényes koordinációs szám hányadosa. A moláris felület képlete:

$$\omega_B = f \cdot (V_B)^{2/3} \cdot N_{Av}^{1/3} \quad (7)$$

ahol V_B (m³/mol) a B komponens parciális moláris térfogata, ami közelítőleg megegyezik a tiszta B komponens moláris térfogatával, $N_{Av} =$

$6,022 \cdot 10^{23}$ 1/mol az Avogadro-szám, f (dimenzió nélküli) definíciója: [21]:

$$f = \left(\frac{3 \cdot f_b}{4} \right)^{2/3} \cdot \frac{\pi^{1/3}}{f_{GB}} \quad (8)$$

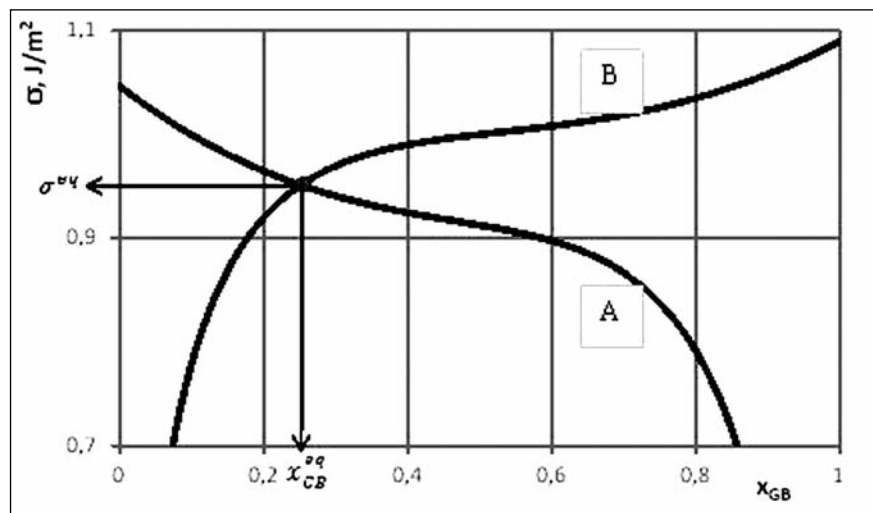
ahol f_b (dimenzió nélküli) a szemcse térfogat-kitöltési tényezője, f_{GB} (dimenzió nélküli) a szemcsehatár térfogat-kitöltési tényezője. Behelyettesítve a (6a-b, 7) egyenleteket az (5) egyenletbe:

$$\sigma_B = \sigma_B^o + \frac{2}{f \cdot (V_B)^{2/3} \cdot N_{Av}^{1/3}} \cdot \left\{ R \cdot T \cdot \ln \frac{x_{GB}}{x} + \Omega \cdot [\beta \cdot (1 - x_{GB})^2 - (1 - x)^2] \right\} \quad (9)$$

Az A komponensre levezethető analóg egyenlet:

$$\sigma_A = \sigma_A^o + \frac{2}{f \cdot (V_A)^{2/3} \cdot N_{Av}^{1/3}} \cdot \left\{ R \cdot T \cdot \ln \left(\frac{1 - x_{GB}}{1 - x} \right) + \Omega \cdot (\beta \cdot x_{GB}^2 - x^2) \right\} \quad (10)$$

Most bemutatjuk a (3, 9–10) egyenletek együttes működését néhány egyszerű példán. Az 1. ábrán a két komponens parciális szemcsehatár-energiáit látjuk a szemcsehatár-koncentráció függvényében, rögzített térfogati koncentráció és hőmérsékletértékek mellett. Láthatjuk, hogy a két görbe egy pontban metszi egymást, ami a (3, 9–10) egyenletek grafikus megoldása: az 1. ábra x tengelye mentén olvasható le a B komponens egyensúlyi szemcsehatár móltörtje (0,25), az 1. ábra y tengelye mentén pedig a két komponens parci-



■ 1. ábra. A (3, 9–10) egyenletek működésének, azaz x_{GB}^{eq} és σ^{eq} grafikus meghatározásának demonstrációja egy egyszerű esetben. Paraméterek: $\sigma_A^o = 1,00$ J/m², $\sigma_B^o = 0,80$ J/m², $\omega_A^o = 40.000$ m²/mol, $\omega_B^o = 60.000$ m²/mol, $\beta = 0,96$, $\Omega = 20.000$ J/mol, $x = 0,10$, $T = 1300$ K. Eredmény: $x_{GB}^{eq} = 0,25$, $\sigma^{eq} = 0,95$ J/m². Vegyük észre, hogy: $x_{GB}^{eq} = 0,25 > x = 0,10$

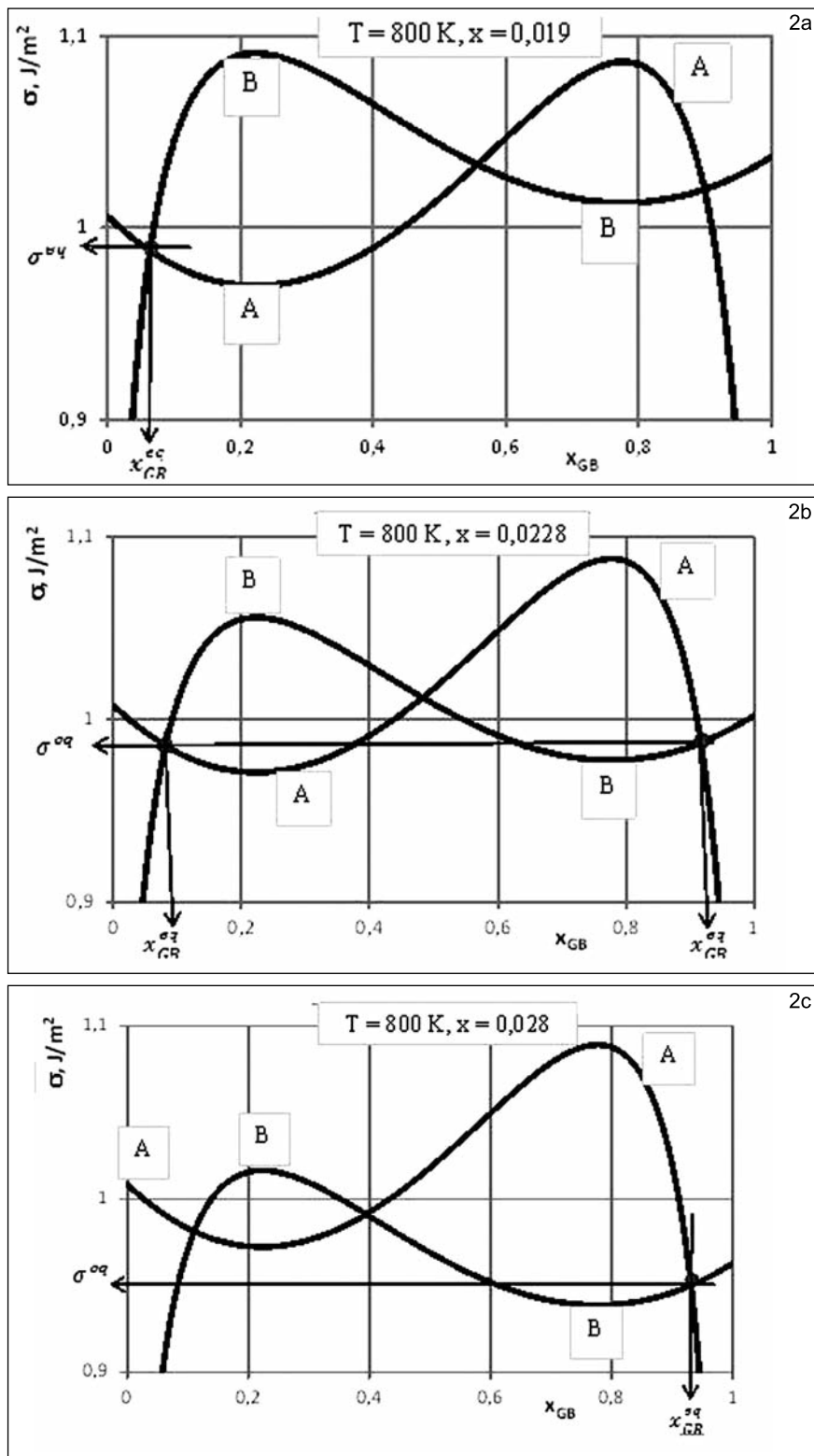
ális szemcsehatár-energiája, ami megegyezik a szemcsehatár-energiával ($0,95 \text{ J/m}^2$). A felületi és térfogati összetételek összehasonlításából kiderül, hogy az 1. ábra adatai alapján a B komponens a „szemcsehatár-aktív” komponens, hiszen ez a komponens szegregálódott a szemcsehatárra. Ennek oka, hogy ebben a példában a B komponens határfelületi energiája kisebb, mint az A komponensé.

Az 1. ábrához hasonló ábrákat kapunk minden esetben, ha a komponensek ideális szilárd oldatot alkotnak vagy vonzzák egymást. Ennek az a következménye, hogy a szemcsehatár-összetétel folytonos függvénye lesz a térfogati összetételnek, hasonlóan a McLean-modellhez (de azal nem azonosan). Abban az esetben azonban, amikor a komponensek taszítják egymást, nem minden térfogati összetétel-hőmérséklet értékpár mellett kapunk az 1. ábrán látható megoldást. Van egy olyan szűk hőmérséklet-térfogati összetétel intervallum, amikor a (3, 9–10) egyenleteknek nem egy, hanem három matematikai megoldása lesz, mint ahogy azt a 2. ábrán mutatjuk be.

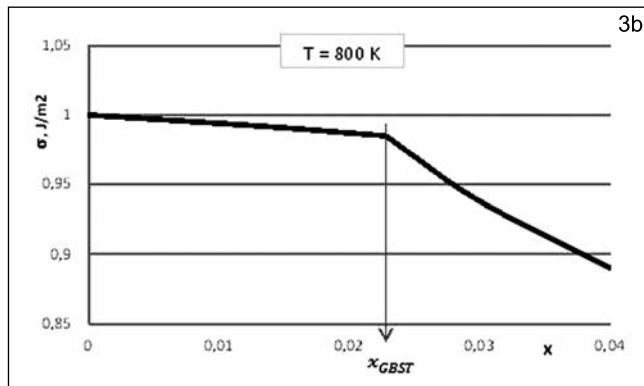
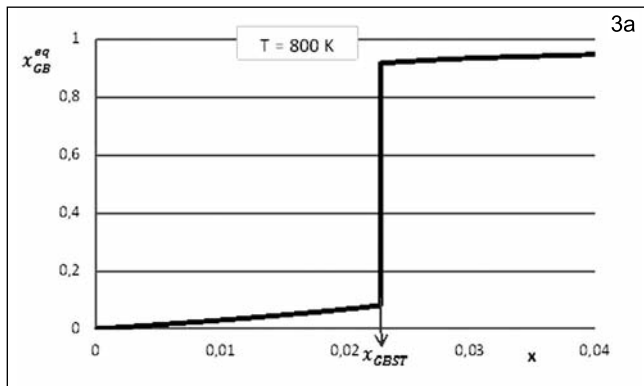
A 2. ábrán látható három-három matematikai megoldás közül az fog fizikailag megvalósulni, amelyik megfelel a termodinamika alapvető egyensúlyi feltételének, miszerint a rendszer egyensúlyi állapota a minimális Gibbs-energiához, azaz a minimális szemcsehatár-energiához tartozik. Ezért a 2a ábrán a bal szélső, míg a 2c ábrán a jobb szélső megoldás fog fizikailag megvalósulni. Azonban a köztes 2b ábrát tudatosan olyan térfogati koncentráció mellett szerkesztettük meg, hogy a bal és a jobb szélső megoldások szemcsehatár-energiái megegyezzenek; nyilvánvaló, hogy a 2a és 2c jellegű ábrákhoz tartozó térfogati koncentrációk által határolt intervallumban mindig létezik egy ilyen speciális térfogati koncentráció érték adott konstans hőmérsékleten. A 2b ábra esetében tehát a természet nem tudja eldönteni, hogy vajon melyik az egyensúlyi állapot, miközben az egyik állapotban relatíve kevés B komponens van a szemcsehatáron, míg a másik állapotban relatíve sok. Tehát e két állapotnak azonos a valószínűsége.

Ezért a legvalószínűbb az, hogy az ötvözetben a szemcsehatárok egy részének összetétele a 2b ábra bal oldali megoldásának felel meg, míg a szemcsehatárok másik részének összetétele a 2b ábra jobb oldali megoldásának felel meg. E két álla-

pot közötti átmenetet nevezzük szemcsehatár szegregációs átalakulásnak (GBST = grain boundary segregation transition). Lényegét tekintve ez az átalakulás hasonlít az olvadásra; amikor egy tiszta fázist az olvadáspontján tartunk, akkor annak



■ 2. ábra. Ugyanaz, mint az 1. ábra, de attól eltérő térfogati koncentráció és hőmérséklet értékek mellett számítva (lásd az ábrák tetején a feliratokat). A szemcsehatár szegregációs átalakulást a 2b ábrán látjuk, $x_{GBST} = 0,0228$ érték mellett



■ **3. ábra.** A szemcsehatár-összetétel (3a ábra) és a felületi feszültség (3b ábra) függése a szemcsék összetételétől $T = 800$ K konstans hőmérséklet mellett számítva. A többi paraméter megegyezik az 1-2. ábrákon használtakkal

két állapota (szilárd és folyadék) azonos Gibbs-energiával bír, és a természet nem tudja eldönteni, hogy melyiket preferálja; ekkor általában az anyag egy része szilárd, a másik része pedig folyékony állapotú lesz. Mind az olvadás, mind a GBST első rendű fázisátalakulás, de amíg az olvadás a fázis térfogatában, addig a GBST a szemcsehatáron valósul meg.

A 3a ábrán a szemcsehatár összetételének függését mutatjuk be a szemcse térfogati összetételének függvényében, konstans hőmérsékleten. Az ábra legfontosabb tanulsága, hogy a szemcsehatár-összetételnek a fent talált GBST-összetételnél szakadáspontja van. Ez minőségi eltérés a McLean-modellhez és minden hasonló modellhez képest, és azt mutatja, hogy a kiterjesztett Butler-egyenlet a McLean-egyenlethez képest lényegesen szofisztikáltabb jelenségek modellezésére is alkalmas. Ennek fő oka az, hogy a McLean-egyenlet (a Langmuir-egyenlettel azonosan) ideális felületi koncentrációval számol, míg a Butler-egyenlet esetében az oldat termodi-

namikai modellje szabadon megválasztható úgy, hogy az a lehető legközelebb legyen a valósághoz. A 3b ábra a szemcsehatár-energia függését mutatja a térfogati koncentrációtól, konstans hőmérsékleten. A fent talált speciális GBST-összetételnél a függvénynek töréspontja van. Ez hasonlít ahhoz, ahogy a standard térfogati Gibbs-energiának töréspontja van az olvadásponton, míg a többi fizikai mennyiségnek szakadáspontja van. Ez is megerősít bennünket abban, hogy a GBST egy elsőrendű fázisátalakulás.

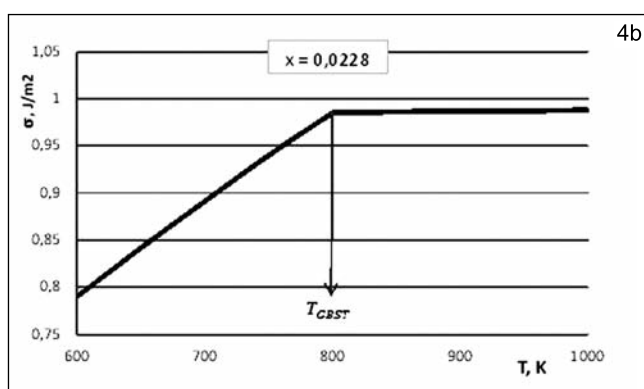
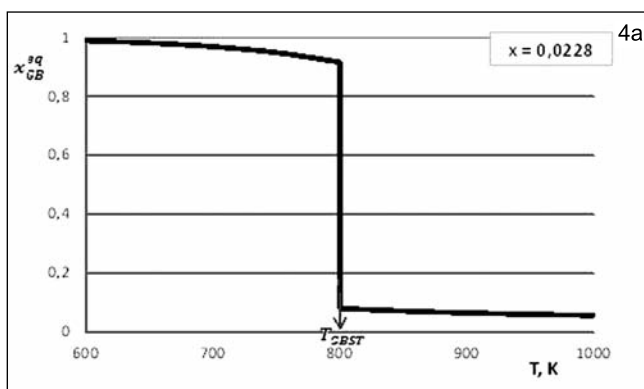
A 4. ábra diagramjain a 3. ábra diagramjainak „inverzét” látjuk: itt a térfogati összetételt rögzítettük, és a hőmérséklet függvényében vizsgáljuk a szemcsehatár-összetétel és a szemcsehatár-energia változását. A lényeg itt is ugyanaz: egy speciális hőmérsékletnél (amit most GBST-hőmérsékletnek hívunk és a megadott összetétel mellett értéke 800 K) a szemcsehatár-összetételnek szakadáspontja van, míg a szemcsehatár-energiának töréspontja.

Ha a 2a-2c ábrákon bemutatott

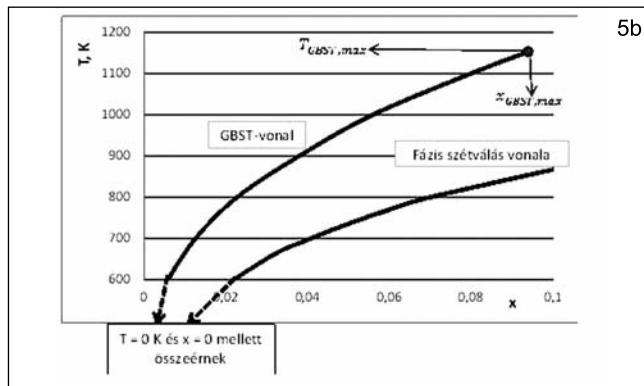
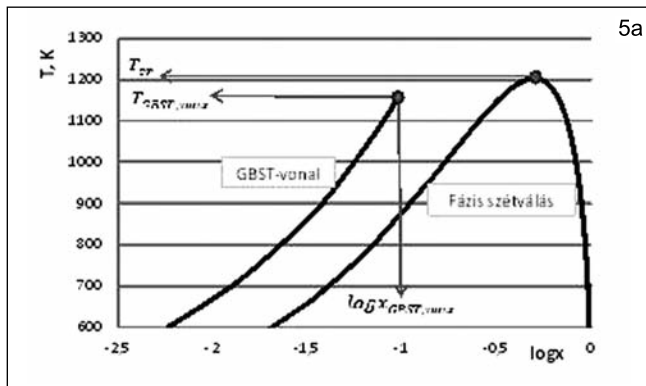
eljárást megismételjük különböző hőmérsékleteken és minden hőmérsékletre megkeressük a 2b ábrával analóg GBST-összetételt, akkor ezzel megkapjuk a GBST-összetétel hőmérsékletfüggését, vagy a GBST-hőmérséklet-térfogati összetétel-függését (ahogy tetszik). Ezt az összefüggést grafikusán az 5. ábrán mutatjuk be és GBST-vonalnak nevezzük. A GBST-vonalon kívül az 5. ábrán bemutatjuk a szilárd fázis térfogati szétválásának vonalait is, melyek a reguláris elegymodell keretein belül a következő egyenlettel számíthatók [13]:

$$T = \frac{\Omega(2x_{sat}-1)}{R \ln\left(\frac{x_{sat}}{1-x_{sat}}\right)} \quad (11)$$

ahol x_{sat} a B komponens telítettségi (= saturated = sat) móltörtje, azaz a térfogati fázisszétválás móltörtje; a (11) egyenlet csak a $0,5 > x_{sat} > 0$, vagy $1 > x_{sat} > 0,5$ intervallumban használható és az $x_{sat} = 0,5$ értékre szimmetrikus eredményeket ad, bár ez az 5a ábra logaritmusos léptékű x tengelye miatt nem egyértelmű. Az $x_{sat} = 0,5$ helyen a görbének maxi-



■ **4. ábra.** A szemcsehatár-összetétel (4a ábra) és a felületi feszültség (4b ábra) hőmérsékletfüggése, konstans térfogati összetétel mellett ($x = 0,0228$). A többi paraméter értéke megegyezik az 1-3. ábrákhoz használtakkal



■ **5. ábra.** Az A-B rendszer fázisdiagramja féllogaritmikus (5a ábra) és annak részlete lineáris (5b ábra) koordináta-rendszerekben, feltüntetve a GBST-vonalat is. A számítási paraméterek megegyeznek az 1-4 ábrákon használtakkal

muma van, ami a kritikus hőmérséklet:

$$T_{cr} = \frac{\Omega}{2 \cdot R} \quad (12)$$

Az 1–6. ábrákon használt $\Omega = 20\,000$ J/mol értékhez a (12) egyenlet szerint a $T_{cr} = 1202,7$ K érték tartozik. Az 5. ábrán azt látjuk, hogy a GBST-vonal a térfogati fázisszétválasztási tartománynak azon az oldalán helyezkedik el, amelyik oldalon a nagyobb szemcsehatár-energiájú A komponens van, és ahol a szemcsehatár-aktív, kisebb szemcsehatár-energiájú B komponens adagoljuk. Ezek szerint a GBST nem más, mint a komponensek tasztítása által felerősített szemcsehatár-szegregáció. Alapvetően a szegregáció oka a komponensek szemcsehatár-energiái közötti különbség. Ha ez még ráadásul a komponensek kölcsönös tasztásával is társul, akkor a szegregációból határfelületi fázisátalakulás lesz.

Az 5. ábrán azt is láthatjuk, hogy a GBST-vonalnak is van egy kritikus hőmérséklete, ami felett ez a vonal már nem létezik. Ennek megértésé-

hez szerkesztettük meg a 6. ábrát. A 6. ábra diagramjai a 2b ábrával analóg ábrák, fokozatosan növekvő hőmérséklettel. A 2b - 6a - 6b ábrák mentén a hőmérséklet növelésével a GBST-hez tartozó kis és nagy határfelületi B-koncentrációk fokozatosan összecusznak. Ennek következtében a két parciális görbe három metszéspontja $T = 1154,6$ K-en és $x = 0,0947$ térfogati móltört mellett egy megoldásba csúszik össze. Ezért a hőmérséklet felett már nincs szemcsehatár szegregációs átalakulás. Érdekes azt is megjegyezni, hogy az egyszerűsített reguláris elegymodell keretein belül a GBST-vonal kritikus hőmérsékletének ($1154,6$ K) és a térfogati fázisszétválás kritikus hőmérsékletének ($1202,7$ K) a hányadosa megegyezik a β paraméter értékével (0,96).

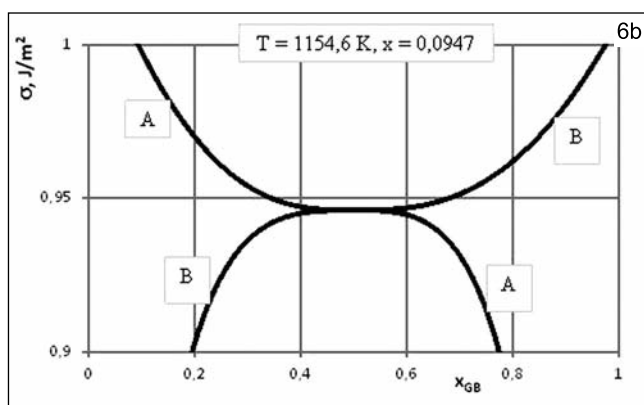
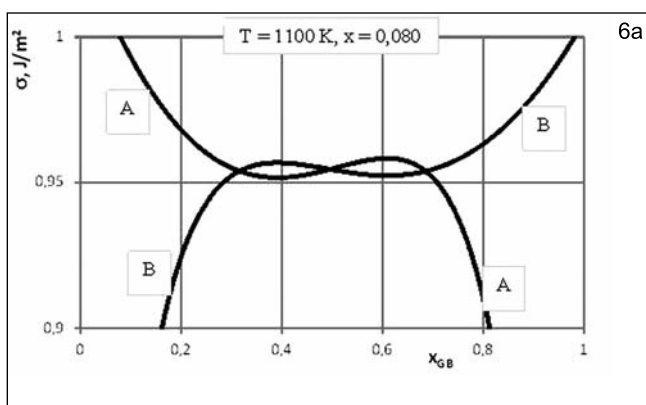
Végeredményben érdemes felírni a (9–11) egyenletek azon egyszerűsített verzióit, melyek a relatív erős tasztító kölcsönhatások esetén érvényesek relatív kis hőmérsékleteken, amikor teljesül az $x_{sat} < 1$ feltétel:

$$x_{sat} \cong \exp \left[\frac{-\Omega}{R \cdot T} \right] \quad (13)$$

$$x_{GBST} \cong K_{GBST} \cdot x_{sat} \quad (14)$$

$$K_{GBST} \cong \exp \left[\frac{\omega_B^0 (\sigma_B^0 - \sigma_A^0)}{2 \cdot R \cdot T} \right] \quad (15)$$

Itt K_{GBST} (dimenzió nélküli) a B komponens szemcsehatár szegregációs együtthatója az A-B szilárd oldatban. A 7. ábrán az eddig tárgyalt, a (9–11) egyenletekkel számolt pontos matematikai megoldásokat hasonlítjuk össze a (13–15) egyenletek közelítő megoldásaival. A 7. ábráról megállapíthatjuk, hogy 600 K alatt a (13–15) egyenletek megfelelően pontos értékeket adnak, legalábbis az 1. ábrán megadott paraméterértékek mellett. A (13–15) közelítő egyenletek megerősítik azt a sejtést (lásd 5b ábra), hogy a térfogati és szemcsehatár fázisátalakulások görbéi a hőmérséklet csökkentésével aszimptotikusan tartanak egymáshoz és a $T = 0$ K / $x = 0$ pontokban találkoznak. Érdekes még megjegyezni, hogy a

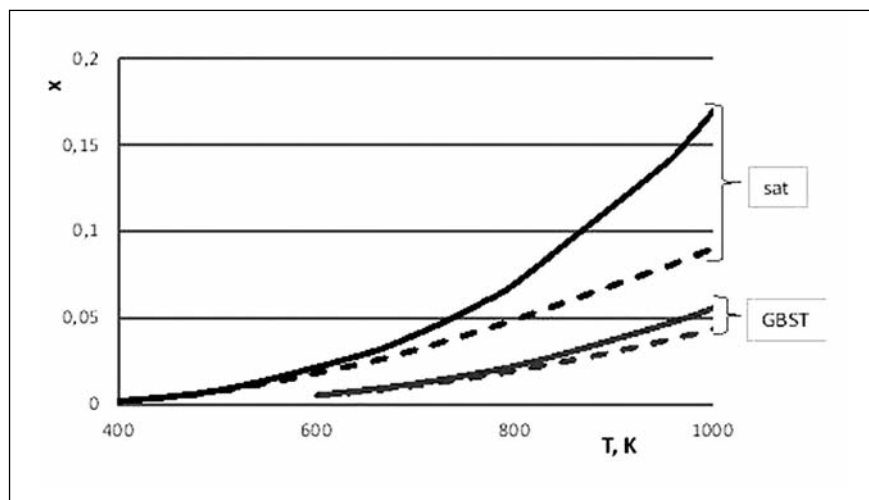


■ **6. ábra.** A 2b. ábrához hasonló ábrák, fokozatosan növekvő hőmérséklet mellett és a hozzájuk tartozó GBST-összetételek mellett számolva. Vegyük észre, hogy a hőmérséklet növelésével a három megoldás fokozatosan egy megoldássá szelődül. Az 5a ábrán látható GBST-vonal kritikus hőmérséklete és összetétele a 6b ábra szerint: $1154,6$ K és $x = 0,0947$

(14–15) egyenletekből kiesett a β szerkezeti paraméter, ami előnyös, hiszen – legalábbis kis hőmérsékleten – egy bizonytalan paraméterrel kevesebb fogja befolyásolni a modell eredményeit.

Köszönetnyilvánítás

Ezt a munkát a TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0027 projekt támogatta, és az Európai Unió, valamint az Európai Szociális Alap finanszírozta. A kutatómunka részben a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területén működő Alkalmazott Anyagtudomány és Nanotechnológia Kiválósági Központ keretében valósult meg. A kutatók köszönik az OTKA K101781 projekt támogatását.



■ 7. ábra. A térfogati fázisszétválás (sat) és a szemcsehatár szegregációs átalakulás (GBST) egyensúlyi koncentrációk hőmérsékletfüggése a pontos számítás alapján (folytonos vonalak) és a közelítő (13–15) egyenletek alapján (szaggatott vonalak). A paraméterek ugyanazok, mint az 1-6 ábrákon

Irodalom

- [1] L. Z. Mezey, J. Giber: New, simple rules of interface segregation. *Surf Sci* 1985, vol.162, pp. 514–518.
- [2] M. Menyhard: Phosphorus on non-brittle grain boundaries of iron. *ScrMetall Mater*, 1992, vol. 26, pp. 1695–1700.
- [3] B. S. Bokstein, V. E. Fradkov, D. L. Beke: Grain boundary segregation and grain-boundary heterodiffusion. *Phil. Mag A*, 1992, vol. 65, pp. 277–286.
- [4] P. Simonis, C. Goffaux, P. A. Thiry, L. P. Biró, Ph. Lambin, V. Meunier: STM study of a grain boundary in graphite. *Surface Science*, 2002, vol. 511, pp. 319–322.
- [5] Lőrinc Zs., Buza G., Csizmazia J., Bitay E., Dobránszky J.: Duplex acél vékony lemezek vegyes kötésének hegesztése. *Hegesztéstechnika*, 2014, 25. évf., 41–46.
- [6] Szabó P. J., Varga P.: Mechanikus és termikus kezelések hatása réz próbatestek szemcsehatárainak tulajdonságaira. XIV. FMTÜ, Kolozsvár, 2009, pp. 205–208.
- [7] Kaptay Gy., Trampus P., Mekler Cs., Végh Á., Dezső A., Kresz N.: Szerkezeti acélok károsodási mechanizmusa neutronsugárzás hatására, In: *A jelen tudománya – A jövő gyakorlata* (szerk.: Ladányi G., Trampus P.), Duna-
- kavics Könyvek 4., Új Mandátum Könyvkiadó, Budapest, 2014, 56–66.
- [8] J. W. Gibbs: On the Equilibrium of Heterogeneous Substances, *Trans. Conn. Acad. Arts Sci.* 1875–1878, vol. 3, pp. 108–248, pp. 343–524.
- [9] I. Langmuir: The adsorption of gases on plate surface of glass, mica and platinum. *J. Am. Chem. Soc.* 1918, I. v 40, pp. 1361–1403.
- [10] D. McLean: *Grain Boundaries in Metals* (Oxford, 1956) ch. 5.
- [11] J. A. V. Butler: The thermodynamics of the surfaces of solutions. *Proc. Roy. Soc.* 1932, vol. A135, pp. 348–375.
- [12] C. Marangoni: Difesa della teoria dell'elasticità superficiale dei liquidi. *Plasticità superficiale*. *PelDott. – Nuovo Chim. Ser. 3*, 1878, vol. 3, pp. 97–115.
- [13] Kaptay Gy.: Anyagegyensúlyok (makro-, mikro- és nanoméretű rendszerekben) – Raszter Nyomda, 2011, 359 oldal
- [14] G. Kaptay: A method to calculate equilibrium surface phase transition lines in monotectic systems – *CALPHAD*, 2005, vol. 29, pp. 56–67
- [15] C. Mekler, G. Kaptay: Calculation of surface tension and surface phase transition line in binary Ga-Tl system – *Mater SciEng A*, 2008, vol. 495, pp.65–69.
- [16] T. Sándor, C. Mekler, J. Dobránszky, G. Kaptay: An improved theoretical model for A-TIG welding based on surface phase transition and reversed Marangoni flow – *Metall Mater Trans A*, 2013, vol.44A, pp. 351–361.
- [17] A. Vegh, C. Mekler, G. Kaptay: A unified theoretical framework to model bulk, surface and interfacial thermodynamic properties of immiscible liquid alloys – *Mater Sci Forum*, 2013, vol.752, pp.10–19.
- [18] G. Kaptay: A CALPHAD-compatible method to calculate liquid/liquid interfacial energies in immiscible metallic systems – *Calphad*, 2008, vol. 32, pp. 338–352.
- [19] G. Kaptay: On the interfacial energy of coherent interfaces. *Acta Mater*, 2012, vol. 60, pp. 6804–6813.
- [20] Z. Weltsch, A. Lovas, J. Takács, Á. Cziráki, A. Tóth, G. Kaptay: Measurement and Modelling of the Wettability of Graphite by a Silver-Tin (Ag-Sn) Liquid Alloy – *Applied Surface Science*, 2013, vol. 268, pp.52–60.
- [21] G. Kaptay: A unified model for the cohesive enthalpy, critical temperature, surface tension and volume thermal expansion coefficient of liquid metals of bcc, fcc and hcp crystals – *Mater SciEng A*, 2008, vol.495, pp. 19–26.

A „metallurgia”, avagy a fémek előállítása és kezelése tudományterület nem tűnt el a Miskolci Egyetemen, csak megváltozott.

Beszélgetés prof. dr. Kékesi Tamással



Gratulálunk az elismeréseihez, hiszen március 15-én megkapta a Magyar Érdemrend Tisztikeresztje kitüntetést, nemrégiben pedig a Hermann Ottó Tudományos Díjat... Mit gondol az elismerésekről?

Ritkán örülhet az ember ilyen kitüntetéseknek. Korábban kapott tudományos elismeréseim között, amire leginkább büszke voltam, az Amerikában átvett Extraction and Processing Science Award volt, amit a TMS (The Minerals, Metals and Materials Society) adományozott, de az inkább a huzamos Japánban végzett munkával szerzett érdemeknek szólt. Az a munka az ultranagy tisztaságú kobalt előállításával volt összefüggésben, ami különböző ionok sósavas közegben megvalósítható anioncserés szétválogatásán alapult. Ez a közeg megragadta a fantáziámat már akkor, s kötődöm hozzá azóta is, mert próbálok mindent feloldani és megoldani sósavval, amit csak lehet. A kutatásban leginkább a hidrometallurgia lehetőségei iránt vonzódok, mert ebben látom azt az újszerűséget, ami olyan fontos előnyöket kínál, mint például az alacsony energiaigény, a környezet ki-

A kitüntetésekkel kezdődött a diskurzusunk, ám gyorsan az ön hulladékból való kinyerésére terelődött a szó. Majd a metallurgia átalakulásáról, helyéről beszélgettünk prof. dr. Kékesi Tamással, a Miskolci Egyetem tudományos és nemzetközi rektorhelyettesével, a Műszaki Anyagtudományi Kar Metallurgiai Intézete igazgatójával, amíg végül a gyakorlatias egyetemi oktatáson át, az „ellopott” technológiai eljáráson keresztül eljutottunk a külföldi hallgatók képzésének fontosságáig.

mélése, kis hőmérsékleten zajló folyamatok – s ami nagyon praktikus egy viszonylag alulfinanszírozott kutatóhelyen – nem kellene drága berendezések, könnyen és olcsón megvalósíthatóak ezek a módszerek. Egyszerű üvegeszközökkel, elszívó fülkével és oldatokkal dolgozunk közönséges hőmérsékleten, ami sokkal könnyebb, mint ezer fok fölött kemencékkel olvasztgatni. Sőt, a kifejlesztett módszereket is könnyebb átültetni a gyakorlatba, amikor mondjuk meg akarja valósítani az elképzeléseket egy ipari partner. Erre van példa, a világ egyre inkább ebbe az irányba tendál. Európában lassan teljesen átalakult a fémek kinyerésével, tisztításával kapcsolatos szakterület, tudományterület. Ma már a primer (értípusú) nyersanyagok feldolgozása, a fémeknek az ilyen úton történő kinyerése zömében áttevődött közel a mai érclelőhelyekhez, Ázsia, Afrika, Dél-Amerika, Ausztrália felé. Közép- és Nyugat-Európa kifogyott az ércekből. A történelem folyamán viszont itt fejlődtek ki az említett technológiák és a tudásbázis, valamint a kutatási háttér is itt áll magas szinten rendelkezésre, itt fejlesztik, oktatják. A mérnökök nagy része Európában vagy Észak-Amerikában végez, a világ bármelyik részén is dolgozik. Erre vannak fájó példáink is. Nálunk az Egyetemen vannak tehetséges hallgatók, akik szép eredménnyel teljesí-

tik nemcsak az alap- és a mesterszakokat, hanem a doktoranduszi munkájuk is kimagaslóan eredményes, megszerzik a doktori fokozatot, majd hirtelen eltűnnek és a világ más tájain boldogulnak.

Miért a hulladékra helyeződik a hangsúly, a figyelem?

A gazdaságilag fejlettebb területeken a hulladékok feldolgozása egyre nagyobb kihívást jelent. Szigorodik a természetvédelem, szigorodnak a veszélyes anyagokra vonatkozó előírások, szabályok, és nem engedhetik meg maguknak a leginkább nagy mennyiségben hulladékot termelő régiók vagy társadalmak, hogy egyszerűen exportálják a hulladékot. Emellett fontos szempont a hulladékokban rejlő érték. Ezt főleg a fémes alkotók jelentik, amennyire képesek vagyunk kinyerni.

A fémhulladékok gyűjtésének ezen a területen kialakult valamiféle kultúrája is...

Pontosítanék. Van fémhulladék, ami ránézésre is fémből van, s ami kikerül a használatból, amit előszerezett gyűjtenek. Persze a rossz példáját is látjuk ennek a gyűjtésnek, amikor eltűnnek fémoszlopok, kábelek stb., de van ennek egy egészen fejlett ipari háttere is. Erre egy új iparág szakosodott már, amiben benne van a fémhulladékok előkészítése,

szeparálása stb. Mondhatjuk úgy: az újrafeldolgozás különböző fázisai. A hulladékok vegyes anyagok, nem tisztán találhatók meg, sőt a fémek gyakran különböző ötvözetekben léteznek. Az értéket a tisztaság is meghatározza. A komplex feldolgozás, az értékes fémek kinyerése komoly metallurgiai ismereteket és eszközöket igényel.

Mivel foglalkozik most, milyen kutatás „van az asztalon”?

Most éppen a forrasztási hulladékból tiszta fémek kinyerése a feladatunk. A forrasztóanyag is egy ötvözet. A hagyományos forrasztóanyagban nagyjából annyi az ólom is, mint az ón. Ma már ez a változat nem használható. Az Európai Uniónak vannak globálisan elfogadott direktívái, amelyek megtiltják az ólomtartalmú forrasztóanyagok használatát az elektronikai iparban. Ez teljesen új kihívás, meg kell találni a módját az ólom helyettesítésének. Ezzel foglalkoztunk most a központilag támogatott FORR-ÁSZ kutatási projekt keretében. Jelzem, a világban sok helyen kutatják ezt a témát. Tökéletes megoldást nehéz találni, mert sajnos nagyon jól működött a hagyományos anyag. Az új ötvözetek ezüstöt, rézet és esetleg más értékes fémeket is tartalmaznak. Ráadásul egyre több a hulladékuk. Így a visszajáratás igen fontos feladat lett.

Ez a kutatás nem csupán a Miskolci Egyetem égisze alatt zajlik.

Ez egy Uniós forrásokból megvalósuló kutatás, részt vesz benne konzorciumi keretek között a Bay Zoltán Kutató Intézet és a debreceni ATOMKI is.

Ami jó példa a kutatási együttműködésre.

Feltétlenül, de alapvetően mindenki a maga területével foglalkozik. Sőt, a Miskolci Egyetemen belül is, a tudományos műhelyek a saját témáikkal vannak elfoglalva. Egymást segítjük természetesen, amikor szükség van rá, különösen, amikor egymás berendezéseit kell valamilyen sajátos feladat megoldásához igénybe venni, vagy egymás közt anyagokat kell cserélni. Témánként ezek a kutatócsoportok specializálódnak. A mi tu-

dományos műhelyünk azt kutatja, hogyan lehet az új ötvözetek hulladékból visszanyerni értékes anyagokat. Az ón drága fém, mondjuk tízszer drágább, mint az alumínium vagy a cink. Jó pénzért átvesszik az elektronikai cégektől a salakos forrasztási hulladékot, amiben benne van az ón, de mellette pár százalék ezüst is, ami akkora értéket képvisel, mint a 96 százalék ón, valamint esetleges egyéb ötvözők mellett a forrasztás során felvett réz is. Tehát ebből kell kinyerjünk tisztán az alkotókat. Itt kanyarodunk vissza a hidrometallurgiához, hiszen ez ad lehetőséget az itthoni kis tételben is gazdaságosan megvalósítható szelektív kinyerésre. Ezzel az eljárással Magyarországon is lehet értéket termelni és import anyagot kiváltani. Van is erre már ipari partnerünk. Éppen Szombathelyen próbálják ezt a kísérleti technológiát felfejleszteni kereskedelmi szintre. Ugyanakkor számunkra is meglepő módon, a mi kutatásaink alapján Malajziában is működik már az elektrolitos önkinyerés. Büszkék lehetünk arra, hogy „ellopták” a technológiánkat. Persze publikáltuk, a projekt kötelez is erre bennünket. Éppen most számoltam össze, 22 publikációnk jelent meg ebben a témakörben, ennek zöme angol nyelvű folyóiratcikk, ezek mellett készült doktori disszertáció, több diplomamunka és szakdolgozat, valamint TDK munkák sokasága, közöttük országos díjnyertes. Kelet-Ázsiából kaptuk sorban az e-maileket azoktól, akik a publikációink szerinti megvalósítással küzdöttek. Az e-mailekben tisztáztuk a nehézségeiket. Segítünk. Örülünk a jó referenciáknak.

Pedig ez egy elméleti munka volt.

Nem teljesen, hiszen ez egy célzott alapkutatás. Elméleti problémákat felderítünk és tisztázunk, olyan céllal, hogy ebből alkalmazható eljárás szülessen. Nem önmagában a probléma érdekes „l'art pour l'art”, hanem az, hogy ebből hasznosítható eredmény legyen. Praktikus világban halad a kutatás.

Nem okozott keserűséget az eljárás külföldi, finoman szólva „lenyúlása”.

Publikálni kellett, ezt vállaltuk. Va-

lahogy megvalósították, de egy ideje nem kapok hírt Malajziából. Gondolom ez jót jelent... Persze készült a kutatásokból szabadalom is, most már a második, amit benyújtottunk. Ez is egy indikátor egyébként. Ugyanis vannak olyan speciális megoldásaink, amiket nem adtunk ki korábban cikkekben. A módszer folyamatos működtetésre igazán csak a szabadalmaztatott eljárásainkkal lesz alkalmas, sőt talán vannak még olyan buktatók is, amiket a szabadalmaink sem fednek fel. Ezek majd az ipari megvalósítás során K+F feladatokként fognak jelentkezni. Tehát a Miskolci Egyetem Metallurgiai Intézete tudományos és technológiai támogatására hosszabb távon is szükség lesz akár itthon, akár Malajziában.

Az egyetemen – s a kérdés már a rektorhelyettesnek szól – ezt a gyakorlati orientációt számon lehet kérni?

Hogyne. Ma már ilyen irányzatok érvényesülnek a felsőoktatási politikában. Példa erre a duális képzés. Mindenhol ezt lehet hallani. Cél, hogy a gazdaság vegyen részt a felsőoktatásban, amennyire lehet, természetesen.

Ha van cég, amely részt kíván venni az oktatásban, az könnyen bekapcsolódhat a Miskolci Egyetemen is ebbe a folyamatba. Mi a helyzet a kutatásoknál?

A pályázatokat eleve úgy bírálják el, hogy kedvezőbb helyzetbe jut az, aki a gazdaság és a társadalom számára jelentős gyakorlati kérdések megválaszolását tűzi ki célul. Vannak olyan pályázatok, például ilyen az OTKA, amely kifejezetten alapkutatást finanszíroz, viszont a TÁMOP-os pályázatok célzott alapkutatást követelnek meg, elméleti alapokon hasznosítható eredményeket kell elérni. Ipari partnerektől szükséges hozzá támogató nyilatkozat, ill. K+F együttműködési szerződéseket produkálni.

Úgy tudom, hogy azok a hallgatók, akik az anyagtudományi karon kapják meg a diplomájukat, elég jól el tudnak helyezkedni...

Mondhatom azt, hogy válogathatnak a lehetőségek között. De nem csupán itt, hanem általában a műsza-

ki karokon végzetteknel ez a kedvező helyzet. Persze van közöttük, aki nem talál azonnal munkát, de az az esztendő alatt keveset produkált, éppen csak el tudta végezni az egyetemet. Aki itt tudatosan tanul, tantervszerűen, és nem éppen „billeg”, jobb eredményeket szerez, nyelvtudást is szerzett, az biztosan talál munkát.

Látható volt az utóbbi években, nem csupán a BOSCH, a MOL vagy a Nemak megjelenésével, hogy új tanszéktípusok kerültek az egyetemre. Ez is jelentős mértékben fordított az Egyetem gyakorlatorientációján. Hogyan alakul a metallurgia sorsa?

Mondhatnánk azt, itt a nagy kérdés: mi lesz veled metallurgia? Hiszen kivált az öntészet az Öntészeti és Metallurgiai Intézetből. Nem teszünk kérdőjelet az öntészet mellé, hiszen most kapott egy akkora háttértámogatást, elsősorban a Nemak és más öntődei vállalatok részéről, akik duális képzést akarnak létrehozni, hogy finanszíroznak humán erőforrást, segítik az önálló Öntészeti Intézet működését, ahol a „járműipari öntészet” lesz a kurrens szakirány. A metallurgiát sem kell sajnálni, az jelenleg sem egy kicsi terület. Valaha ez két óriási egységet jelentett, nevezetesen a Vaskohászattani és a Fémkohászattani Tanszéket. Akkor még más volt a világ. A „vas és acél országa” voltunk, és a „magyar ezüstöt” állítottuk elő a hazai bauxitvagyonból. Az igények megváltoztak a fejlett világban. Az alkalmazkodást megtették a többi metallurgiai háttérrel rendelkező egyetemek Európában, így mi is. Kohászat helyett anyagtudomány van már, megváltozott feladatokkal, modern körülmények között és újszerű hozzáállással. Ahogyan a beszélgetésünk elején mondtam, különlegesen tiszta fémeket

ket kinyerni újszerű módon, új és összetett anyagokat előállítani, változatos nyersanyagokat feldolgozni, ez már nem kohászat, ez anyagtudomány, anyagmérnöki tevékenység. Az egyedi, sajátos, utánozhatatlan tulajdonságokkal rendelkező fém talán továbbra is a főszereplő, noha a Karon a polimer szakirány is erős, kerámiaanyagokkal és kompozitokkal is foglalkozunk. A fémek előállításával, hulladékfeldolgozással, tisztításával, ötvöztetésével és felületmódosításával foglalkozik a megújult Metallurgiai Intézet. Mindez a modern iparban fontos és előremutató.

Nemrégiben jött haza japánból. Tudom, jól beszéli a japán nyelvet is. A kutatásaival kapcsolatos megbeszélések mellett, nyilván az egyetemi, oktatási témák képviselője is jelen volt az Ön személyében.

Magyarországon van olyan projekt, szintén uniós forrásból, amely az egyetemi oktatás nemzetköziesítését tűzte ki célul. A Campus Hungary Program támogatásával propagálhatam az Egyetem képzéseit és kutatásait a távoli régiókban. Nagyon sokan Indiából, Indonéziából, Japánból, Koreából, Vietnamból azt mondják, ha külföldre kellene menni egyetemre, akkor az legyen Amerika vagy Anglia, netán Nyugat-Európa, Németország vagy Franciaország. A Campus Hungary Program keretében mi is megjelentünk Magyarország nevében a nagy nemzetközi oktatási rendezvényeken: jeleztük, hogy itt vagyunk, sokkal olcsóbban és jó minőségben tudunk ajánlani egyetemi képzést és megélhetést!

Van az ilyen utazásoknak, látogatásoknak valamilyen hozadéka?

Természetesen igen. Ez számokban is megjeleníthető. Egyrészt az érdeklődésben, az e-mailekben, de

említhetném a jelentkezési számokat. Magyarországi felsőoktatási képzésre jelentkezhetnek úgy ezekből a Távol-Keleti Régiókból, hogy a Magyar Kormány ad ösztöndíjat és fedezi az egyéb alapvető költségeket is a Stipendium Hungaricum Program keretében. Legyünk realisak: a Miskolci Egyetem számára ma már megélhetési kérdéssé kezd válni az, hogy tandíj ellenében is adjon külföldi hallgatóknak angol nyelven oktatást, mert a normatív finanszírozás, amit az Egyetem kap a központi költségvetésből, csak a költségek negyven százalékát fedezi. Demográfiai okból a magyar hallgatók létszáma csökken, tehát ha az oktatási kapacitást a magyar hallgatókkal nem lehet kihasználni, akkor igazán fontossá válik a nemzetközi beiskolázás. Emellett a kutatási bevételek továbbra is fontos elemei az intézményi költségvetésnek. Ez is azt mutatja, hogy a Miskolci Egyetem alkalmazkodni tudott és tud a változásokhoz, sok nehézséget képes átvészelni vagy megoldani. Most zárul a TIOP-projekt, amellyel teljesen megújult az egyetemi infrastruktúra is. A Miskolci Egyetem az összes projektjében sikeresen teljesített, nagy kutatási pályázatokat nyert el, „Kiváló Egyetem” címet és Minőségi Díjat is kapott. A nemzetközi hallgatói létszám szépen, erősen fejlődik. Az évente fogadott, 100-nál is több külföldi hallgató viszi az Egyetem jó hírét. A változás örök, de az Egyetem esetében ezt fejlődésként kell tekinteni. Az Egyetem és a Város közötti kapcsolatok is fejlődnek, amit az egyik legújabb nagy központi projektünk is kifejez. A pozitív kisugárzás remélem minél több arra érdemes és jó képességű jelentkezőt is vonz, akik nélkül nehezen lennének teljesíthetőek a társadalommal szembeni elvárások.

Hajnal József

Beszámoló a XXXII. Országos Tudományos Diákköri Konferenciáról

A magyar felsőoktatás hagyományosan legnagyobb, két évente lebonyolításra kerülő hallgatói tudományos

seregszemléjének műszaki tudományos szekcióját ez év tavaszán az Emberi Erőforrások Minisztériuma és

a Magyar Tudományos Akadémia fővédnökségével az Óbudai Egyetem bonyolította le.



■ 1. kép. Dr. Réger Mihály köszöntőjét tartja



■ 2. kép. Az első helyezettek díja: Mechwart András mellszobra

A nevezési határidőig 16 különböző tudományterületről 3559 nevezés érkezett, ezek értékeléséhez kilenc város felsőoktatási intézményei adtak otthont két-három napos szekcióülések keretében. A legnagyobb érdeklődés a Műszaki Tudományi Szekció iránt mutatkozott, összesen 565 dolgozat bejelentésével, közel hétszáz egyetemi-főiskolai hallgató jelentkezésével. Határon túli magyar egyetemisták, valamint a kiemelkedő teljesítményt nyújtó középiskolás kutató diákok is nevezhettek pályamunkáikkal.

Az elmúlt évek során folyamatosan nőtt a dolgozatok száma, míg 2007-ben a győri Széchényi István Egyetemen 266 volt ez a szám, az idei rendezvényen 540 (köztük 170 határon túli magyar) dolgozatot mutattak be a 24 felsőoktatási intézményből érkezett hallgatók.

A XXXII. OTDT központi megnyitó ünnepségét – mely egyben a Műszaki Tudományi Szekció megnyitóját is jelentette – 2015. március 25-én rendezték az Óbudai Egyetemen. Itt dr. Fodor János, az Óbudai Egyetem rektora, dr. Szász Domokos, az MTA alelnöke, dr. Szendrő Péter, az Országos Tudományos Diákköri Tanács elnöke, dr. Maruzsa Zoltán, felsőoktatásért felelős h. államtitkár, dr. Kaposi József, az Oktatáskutató és Fejlesztő Intézet főigazgatója és Gulyás Tibor, a HÖK Országos Konferenciája elnöke tartott előadást. A moderátor dr. Horváth Sándor dékán volt. Az elnökségi asztalnál foglaltak helyet a kormányzati és önkormányzati szervek képviselői, dr. Réger Mihály tudományos rektorhelyettes (1. kép), az OTDT Műszaki Tudományi Szekció

ügyvezető elnöke és dr. Palotás Árpád, az OTDT Műszaki Tudományi Szakmai Bizottság elnöke, akik köszöntötték a hallgatóságot.

Dr. Szendrő Péter a tudományos diákköri tevékenység lényegét a következőkben foglalta össze: „A tudományos diákköri mozgalom mindezekelőtt azt az üzenetet közvetíti a részt vevő fiatalok felé, hogy érdemes bekapcsolódni a felsőoktatási intézmények tudományos műhelyeinek munkájába, és együtt kutatni a legkiválóbb tanárokkal, mert nincsen ennél intenzívebb felkészülési forma, hasznosabb időtöltés a tehetséges tudósjelöltek számára.”

A tagozatok üléseinek színvonalas megrendezéséhez, a legjobb szakmai teljesítményt nyújtó hallgatók díjazásához a gazdasági élet meghatározó szereplői, összesen 25 cég nyújtott jelentős támogatást. A lebonyolítást az Emberi Erőforrások Minisztériuma megbízásából az Oktatáskutató és Fejlesztő Intézet és az Emberi Erőforrás Támogatáskezelő a Nemzeti Tehetség Program NTP-XXXII. OTDK-M-14 pályázata keretében támogatta.

Az Óbudai Egyetem és a Magyar Rektori Konferencia Műszaki Tudományok Bizottsága mellett kiemelt különdíj adományozásával hangsúlyozta a tehetséggondozás, a kutatói utánpótlás nevelésének fontosságát a Magyar Mérnöki Kamara Környezetvédelmi Tagozata, a Magyar Elektrotechnikai Egyesület, valamint a Pro Scientia Aranyérmesek Társasága.

Az óbudai kampuszon Bejczy Antal fizikus, az Amerikai Űrkutatási Hivatal, a NASA Jet Propulsion Laboratory

vezető kutatója, a nemzetközi űrkutatás és robotika kiemelkedő személyisége életpályáját bemutató kiállítás, valamint Mechwart András munkásságát szemléltető tablósorozat fogadta a konferencia résztvevőit és vendégeit.

A szervezők – a szakmai programok mellett – szabadidős rendezvényekkel várták a tudományos seregszemlén megjelenteket. Március 25-én és 26-án a budapesti műszaki múzeumok – az Elektrotechnikai-, a Közlekedési-, az Öntödei Múzeum, valamint a Műszaki Tanulmánytár – fogadták az érdeklődőket. Március 26-án dunai hajókiránduláson vehettek részt a fiatalok.

A díjátadásra március 27-én a Millenáris Teátrumban került sor, ahol Varga Mihály nemzetgazdasági miniszter beszédében hangsúlyozta, hogy a műszaki értelmiségnek meghatározó szerepe van és lesz a magyar gazdaság fejlődésében, előrelépésében. Magyarországon megvan az a szellemi kapacitás, humán háttér, amely képessé teszi arra, hogy – a világgazdaságban elfoglalt arányokhoz képest is – nagyobb részt vállaljon a kutatás-fejlesztésben, innovációban és az eredmények gazdasági hasznosításában. „A rendezvény lehetőséget adott arra, hogy a hallgatók beszámoljanak tudományos diákköri eredményeikről, és ráirányítja a figyelmet a tudományos teljesítményben, az újat létrehozni képes alkotásban és a valós tudás megszerzésében rejlő értékekre. A nevezések nagy száma mutatja azt is, milyen fontos feladat a tehetséges hallgatók és mestereik támogatása.”

A Műszaki Tudományi Szekció 55 tagozatában 540 dolgozat előadására került sor, az 1118 bíráló elkészítésében 165 zsűritag vett részt. Az értékelés során összesen 270 első-, második-, harmadik díjat, valamint különdíjat adtak ki.

Minden díjazott szerző egy-egy színesfém alapanyagú, magyar tallér méretű emlékérmét vehetett át, amelyet az Óbudai Egyetem kifejezetten az OTDK-ra készíttetett.

Az első helyezett dolgozatok szerzői *Berek Lajos* szobrászművész alkotását, egy asztali bronz mellszobrot kaptak emlékébe, amely a budapesti Ganz-gyárat világhírűvé fejlesztő Mechwart Andrást, a XIX. század sikeres magyar mérnök-menedzserét ábrázolja (2. kép). Életútja példaképül állítható a jövő mérnökei elé, ezért az Öntödei Múzeumi Füzetek sorozatból *Pénzes István: Mechwart András 1834–1907* című reprint kiadványát a konferencia résztvevői a regisztrációnál kézhez kaptak.

A 180 első-, második-, harmadik díjból a legtöbbet a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem ifjú kutatói vehették át, összesen 88-at, a Miskolci Egyetem hallgatói 24-gyel, míg az Óbudai Egyetemet képviselők 23-mal térhettek haza intézményeikbe. Az Óbudai Egyetem

5 első helyezett, 8 második helyezett, 10 harmadik helyezett és 19 különdíjban részesült hallgatóval kiemelkedő teljesítményt tudhat maga mögött.

Az egyetem kiemelt különdíjban részesítette a legmagasabb pontszámot elérő hallgatót, *Kiss Danielt* (Óbudai Egyetem), akinek „Tumorsejtek in vitro szelekciós kísérleteinek szimulációja rácsfüggetlen sejtautomata modell segítségével” című előadását a Műszaki Tudományi Szekció Prezentációs-díjra is javasolta.

A Magyar Rektori Konferencia Műszaki Tudományok Bizottsága *Agócs Mihályt* (Dunaújvárosi Főiskola) a „Pásztázó akusztikus mikroszkóp ipari felhasználása” című előadásáért jutalmazta kiemelt különdíjjal.

A Magyar Mérnöki Kamara Környezetvédelmi Tagozatának kiemelt különdíjában részesült *Hévízi Márton* (Debreceni Egyetem): „Egy termálfürdő használt vizének vizsgálata, felszíni vízfolyásba való bevezetésének modellezése és a fellépő környezetterhelések minimalizálásának lehetőségei” című előadásáért.

A Magyar Elektrotechnikai Egyesület kiemelt különdíját kapták a BMGE hallgatói, így *Takács Borbála* a „Háztartási méretű fotovoltaikus termelés értékelése”, *Fazekas Tibor* „Az adathiány kezelése az öregedő

villamosenergia-rendszer élettartam analízise során” és *Mayer Martin János* a „Napelemek termelés előrejelzésének pontosítása” című dolgozatával, aki a Pro Scientia Aranyérmesek Társaságának kiemelt különdíját is megkapta.

Ezúton is gratulálunk a díjat nyert hallgatóknak, konzulenseknek további sikereket kívánva szakmai tevékenységükben.

A rendezvény zárásaként dr. Réger Mihály ünnepélyesen átadta a rendezői stafétát a következő konferenciát szervező Dunaújvárosi Főiskola rektorhelyettesének, *dr. Palotás Bélának*.

Elismerés és köszönet illeti a XXXII. Országos Tudományos Diákköri Konferencia Műszaki Tudományi Szekciója előkészítésében és szervezésében közreműködőket: az egyetem Tudományos Diákköri Tanácsának és a létrehozott bizottságoknak a tagjait, a támogatásszervezésben, a bírálatokban, a tagozatok munkájában, a programok szervezésében, a lebonyolításban résztvevőket és a további sok-sok közreműködőt, akik gondos, kitartó munkájukkal hozzájárultak az esemény magas színvonalú megrendezéséhez.

Összeállította:

dr. Gáti József híradása nyomán

 **LKK**

A Műszaki Anyagtudományi Kar rövid hírei 2015. június

• Miskolc város napja alkalmából 2015. május 11-én a Miskolci Nemzeti Színházban tartott ünnepi közgyűlés keretében *dr. Kékesi Tamás* professzor, Karunk oktatója, a Miskolci Egyetem tudományos és nemzetközi rektorhelyettese kiemelkedő szakmai, tudományos és oktatói tevékenységének elismeréseként Herman Ottó-díjat vehetett át. A kitüntetéshez gratulálunk!

• 2015. április 23-án újra csapattal érkeztek a Miskolci Egyetemre a műszaki képzések iránt érdeklődő középiskolás lányok a 2015. évi Lányok Napja keretében. A rendezvény megnyitóját követően a régió 11 középiskolájából érkező 83 lány csoportokba osztva járta végig az egyetemi laborokat, és ismerkedett meg több

bek között a tanbányával, a porrobanással vagy a porcelán- és fröccsöntéssel, de azt is megtudhatta, hogy hogyan lehet felderíteni egy autóbaleset okait, milyen erő kell a műkörm eltöréséhez vagy a harisnya elszakításához, és hogyan keletkezik a tüzes forgószél.

• A Történelmi Egyházak, a Miskolci Egyetemi Lelkészség, valamint a Miskolci Egyetem közös szervezésben – a Pünkösdi Ünnephez kötődően hagyományteremtő jelleggel – Ökumenikus Pünkösdi Nyílt Napot rendezett május 19-én a Miskolci Egyetemen. A rendezvényen három északelet magyarországi megyéből, 10 egyházi fenntartású középiskolából közel 700 tizenegyedik évfolyamos diák vett részt. A diákok megismerked-

hettek a Miskolci Egyetem képzéseivel, látványos kísérleteket és laborbemutatókat nézhettek meg, interaktív feladatokban tehették próbára rátermettségüket, amelyekkel a szervezők játékos formában szerették volna a tudományokat közelebb hozni a középiskolás korosztályhoz. A Miskolci Egyetem kiemelt figyelmet fordít arra, hogy diákjaik az egyetemi évek alatt is aktívan gyakorolhassák hitüket. Az egyetemi hitélet szervezésében évek óta kiemelt szerepet tölt be a Miskolci Egyetem Egyetemi Lelkészsége, amely szervezettel a középiskolások közvetlenül is megismerkedhettek a nyílt napon. A rendezvény a szakmai programokat követően a Miskolci Egyetem Díszaulájában ökumenikus istentisztelettel zárult.

• 2015. május 28-án „Járműipari Öntészeti Duális Workshop” keretében látta vendégül a Kar a továbbtanulási jelentkezési eljárásban anyagmérnök alapszakot megjelölő, és a duális képzés iránt érdeklődő diákokat, annak érdekében, hogy bővebb információt kaphassanak a szakmákról, a duális képzőhelyekre történő jelentkezés menetéről. A megjelent diákokat a Műszaki Anyagtudományi Kar nevében dr. Palotás Árpád Bence, a Kar dékánja köszöntötte, dr. Gácsai Zoltán, a Miskolci Egyetem duális képzési felelőse a duális képzési forma fontosságát

hangsúlyozta, dr. Dúl Jenő, a Miskolci Egyetem és a Magyar Öntészeti Szövetség közös vállalatának (Foundry-Solid Kft.) ügyvezetője pedig az öntészeti szakmát népszerűsítette. A résztvevők előadások keretében ismerkedhettek meg a Kar képzési repertoárjával (dr. Palotás Árpád Bence, dékán), szembesülhettek a duális képzés előnyeivel, valamint informálódhattak a vállalati jelentkezés és a duális képzés tanulmányi időbeosztásának részleteivel kapcsolatban (dr. Mende Tamás, beiskolázási referens, Miskolci Egyetem), valamint tájékozódhattak az ön-

tészeti szakmáról, technológiákról, a duális képzésben résztvevő partner-vállalatokról (dr. Varga László, intézet-igazgató, Öntészeti Intézet). A prezentációkat követően öntészeti laborbemutatókat (szimuláció, homokvizsgálat, mikroszkópia), valamint „A ma öntvénye, a holnap műtárgya” című tárlatot tekinthették meg a vendégek. A program utolsó részében a potenciálisan leendő diákok tetszőlegesen választott plaketteket felhasználva készíthettek homokformákat, majd önthettek alumínium emléktárgyat saját maguknak.

 **Mende Tamás**

MEGHÍVÓ

IX. Fazola Fesztivál

2015. szeptember 25–26.

Az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület és helyi szervezetei, az Északkelet-Magyarország Ipartörténetének Ápolásáért Alapítvány, a Miskolci Egyetem Műszaki Anyag- és Földtudományi, illetve Bölcsészettudományi Karai, az MTA Miskolci Területi Bizottsága, a B.A.Z. Megyei Mérnöki Kamara, az MMKM Kohászati Múzeuma, a Rotary Club Miskolc, az ÉSZAKERDŐ Zrt. tisztelettel várja egyesületünk kedves bányász, kohász tagtársait, hozzátartozóit, barátait a már hagyományossá vált rendezvényükre.

A rendezvény előzetes programja:

Szeptember 25. (péntek)

- | | |
|-------------|--|
| 10:00 | Tudományos konferencia „A hazai ipartörténet helyzete” címmel az MTA Miskolci Területi Bizottság székházában (Erzsébet tér 3.) |
| 10:00–13:00 | A Miskolci Egyetem hallgatóinak, oktatóinak játékos szakmai bemutatói a Széchenyi utcán |
| 19:00 | Kohász, bányász, erdész hagyományörző szakestély a Bartók Béla Művelődési Házban (Andrássy u. 15.) |

Szeptember 26. (szombat)

- | | |
|-------------|--|
| 9:00 | Zenés kisvonatozás Újmassára a Fazola műemlékkohóhoz |
| 10:00 | Ünnepi megnyitó |
| 10:30–16:00 | Interaktív szakmai bemutatók |

Szívesen felajánljuk lehetőségeinket a műemlékkohó térségében esetleges reklámcélú táblák, eszközök megjelenítésére.

Segítő támogatásukat előre is köszönjük.

Jó szerencsét!

Nyitrai Dániel
OMBKE helyi vezető

Sipos István
az alapítvány elnöke

Címünk: Északkelet-Magyarország Ipartörténetének Ápolásáért Alapítvány 3535 Miskolc, Bartók Béla u.1.
Tel.: 30/904-1776 e-mail: postmaster@ekmita.t-online.
Bankszámlánkat vezető pénztintézet: OTP Bank Nyrt. Északkeleti Régió 3534 Miskolc, Árpád u. 2.
Számlaszám: 11734073-29901876

100 éve született Óvári Antal Tisztesség és tisztelet



100 éve született Óvári Antal okl. vaskohómérnök, az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület tiszteleti tagja. 1963–66 között az Egyesület főtitkári tisztét is betöltötte, majd a BKL Kohászat szerkesztőségét vezette főszerkesztőként. Nem kellett sokáig töprengenem azon, hogy mi is legyen a megemlékezés címe. Szinte villanásszerűen a „tisztesség” és „tisztelet” szavak jutottak eszembe. Óvári Antallal – pontosabban Tóni bácsival – hosszú időn át, majdnem két évtizeden át dolgozhattam együtt a Kohászat szerkesztőségében.

A felelős szerkesztői feladatot mindig tisztességgel látta el. Az ülések kezdete előtt már egy-két órával korábban bejött az Egyesületbe, tájékozódott a lap kiadásával kapcsolatos helyzetről. Sokáig az Anker közeli időkben a szerkesztőségi üléseket az előtérben tartotta meg, csak évek múlva kapott a feladat jelentőségéhez illő külön szobát.

Nem emlékszem olyan alkalomra,

amikor Tóni bácsi nem jelent volna meg ezeken az összejöveteleken. Így érthető, hogy nehezen viselte el a szerkesztőség egyes tagjainak indokolatlan távolmaradását. A szerkesztőség tagjainak munkáját egy spirálfüzetben követte, bejegyezve a szerkesztőségi tag nevével jelzett oszlopba a cikk KL számát, a kézirat beérkezésének időpontját, illetve a cikk további sorsával kapcsolatos történetek adatait. Talán még megtalálható ez a füzet valamelyik „egyesületi” szekrényben.

Óvári Antal személye, tevékenységének megkérdőjelezhetetlen tisztessége hosszú időn keresztül az állandóan változó személyi és külső feltételek alatt is biztosította az egyik legregibb magyar nyelvű szakmai folyóirat folyamatos megjelenését. Ne feledkezzünk meg arról, hogy abban az időben évenként még 12 szám jelent meg, és a lapokat ólomba szedték.

A kohásztársadalom elismerését, tiszteletét nem csak felelős szerkesztői munkájával vívta ki. Óvári Antal a vaskohómérnöki oklevél megszerzése után 1960-ig – két kis kitérővel – az ózdi kohászatban dolgozott. Nemcsak szakmai, de komoly magánéleti nehézségeket is okozott, amikor az 1956-os ózdi tevékenysége miatt munkahelyén főmérnökként méltatlan helyzetbe hozva ottani karrierje feladására, gyakorlatilag a város elhagyására kényszerítették.

Budapestre való költözése után felelős műszaki posztokat töltött be a

Kohértnél, a KGM Vaskohászati Igazgatóságán illetve a Ferroglobus műszaki osztályán. 1974-től nyugdíjba vonulásáig, 1979-ig a Vasipari Kutató Intézet acél-tanácsadási osztályát vezette.

Aktív pályafutásának utolsó éveiben magára vállalta a Vaskohászati kézikönyv szerkesztését is. Ezt a feladatot is tisztességgel teljesítette, nagyon nagy türelemmel biztatva az egyes fejezetek szerzőit a határidők betartására. Az Óvári Antal által szerkesztett kézikönyv – így utólag már megállapíthatjuk – az utolsó, a vaskohászati technológiák teljes vertikumát átfogóan tárgyaló könyv. Műszaki végzettsége dacára egész életében szívesen foglalkozott helytörténettel, néprajzzal. Még az ötvenes évek elején írta meg az Ózd története című könyvet, amely már e kettős érdeklődés jegyében fogant.

Óvári Antalt még kortársai is Tóni bácsinak szólították, kifejezve tiszteletüket. Utolsó éveit töréses balesete minden bizonnyal megnehezítette.

Óvári Antal iránt érzett tiszteletünket csak azzal tarthatjuk ébren, ha szakmai elkötelezettségét, a vállalt feladatok elvégzése iránt tanúsított felelősségtudatát az őt követő nemzedékek elé példaként állítjuk és emléket megőrizzük.

✍ Verő Balázs

Óvári Antal 1991 márciusában hunyt el, sírja a Farkasréti temetőben található.

120 éve született az ajkai timföldgyár és alumíniumkohó építője



■ 1. kép. Vitéz Petneházy Antal (1895–1973)

Vitéz Petneházy Antal 1895-ben született Debrecenben. Katonai pályára lépve végigharcolta az első világháborút. Vitézségét számos magas érdemrenddel jutalmazták. A tiszti pályán maradván az 1920-as években a József Nádor Műegyetemen gépészmérnöki oklevelet szerzett, így mérnökkari alezredesi rangot ért el. 1936-ban az akkor megalakult Iparügyi Minisztérium államtitkára lett, így munkája révén kapcsolatba került Ajkával. 1937-ben kilépett az állami szolgálatból és a Bányaművelő Rt., majd annak jogutódja, a Magyar Bauxitbánya Rt. alkalmazottja lett.

A Magyar Bauxitbánya Rt. 1937. április 21-én alakult meg, kétmillió pengő alaptőkével. Miután a nyírádi bauxitbánya egyenletesen kiváló minőségű bauxitot termelt, a részvényesek arra a következtetésre jutottak, hogy érdemes a közelben egy nagyobb kapacitású timföld- és alumíniumgyárat létesíteni. Először Devecsert szemelték ki erre a célra, de miután ezt a tervet a devecseri eljárások elutasították, más helyszín után néztek. Így került szóba Ajka, amely alkalmasnak bizonyult egy erő-

mű, timföldgyár és alumíniumkohó telepítésére, megépítésére. A létesítendő gyár tervezett kapacitása 20.000 t/év timföld és 10.000 t/év alumínium volt.

Petneházy Antal 1940. január 4-én, mint a Bauxitbánya Rt. vezérigazgatója vett részt Tósokberénden azon a bejárson, ahol megtekintették és kijelölték az erőmű és timföldgyár tervezett helyszínét. Állítólag ekkor mondta a bejárson azt az elhíresült mondatát, mikor kiszállt a kétüléses autójából és sétabotjával az út porába csapott: „Várost csinálók ebből a porfészekből!”

Az elképzelések megvalósítására a Magyar Bauxit Rt. elnöke, *Hohenlohe Ferenc* az ajkai gyár ügyeinek vezetésére *Zsilinszky Gábort*, a helyszíni beruházások irányítójának pedig Petneházy Antalt bízta meg, aki 1940. január 8-án került Ajkára.

1940. szeptember 12-én szerződést kötött az Egyesült Izzó Rt. és a Magyar Bauxit Rt., amely szabad utat biztosított az erőmű, valamint a timföldgyár és alumíniumkohó gyorsított ütemű felépítéséhez. Ezután felgyorsultak az események és hamarosan megkezdődtek a munkák.

A helyszínrajzok 1941 februárjában

készültek el, hamarosan megépültek a felvonulási épületek, és márciusban megkezdődtek az építkezések. A gyár tereprendezési munkálatait *Karlik Ignác* vállalta, a timföldgyári munkálatokat és a készenléti lakótelep építkezéseit *Andráskay Müller Ede* Fiai vállalkozása, a kohó építési munkálatait pedig *Sorg Antal* cége végezte. A gyár gépi berendezéseinek nagy részét magyar vállalatok szállították.

1941. június 25-én jelentős részvényérdekeltséggel a *Dürrener Metallwerke A.G.* is betársult a vállalkozásba, és a német szakértőgárda emberei is a gyárba kerültek.

1942. május 29-én az erőmű, valamint a timföldgyár és alumíniumkohó építésének koordinálására – tekintettel a honvédelmi és közgazdasági érdekekre – az ipari miniszter Petneházy Antalt miniszteri biztossá nevezte ki.

1942 májusában volt az építkezés csúcspontja, ekkor 1299 munkavállaló dolgozott a különböző munkaterületeken.

1942. szeptember 1-jén érték el a timföldgyár és alumíniumkohó építői a „bokrétamagasságot” (a felmenő falak elkészülte). Ez alkalomból nagyszabású ünnepséget tartottak rangos meghívott vendégekkel.

A beruházás befejezése azonban a háborús események miatt csak nehezen haladt. A létesítmény a tervek szerint 1942. augusztus 6-án indult volna, de a gépi berendezések vontatott ütemű szállítása miatt erre csak később kerülhetett sor. A timföldgyár egyes részlegeinek üzembe helyezése fokozatosan történt 1942 őszén, és a kalcináló kemence 1943. február 5-én készült el.

Ezzel megkezdődött Ajkán a timföldgyártás, majd 18 nappal később, 1943. február 23-án megtörtént



■ 2. kép. Petneházy Antal miniszteri biztos (ül) megszemléli az épülő gyárat

az első kohóalumínium-csapolás is.

Így két év alatt felépült az ajkai timföldgyár és alumíniumkohó.

Feltétlenül meg kell említeni azokat a vezető munkatársakat, akik Petneházy Antalnak segítettek és elvülhetetlen érdemeket szereztek az ajkai gyár felépítésében: *Gebefügi István, Becker Ervin, Timár Vilmos, Gerencsér József, dr. Marschek Zoltán, Szentiványi Gyula.*

Petneházy Antal igazgató az építés, a gyárak üzembe helyezése, irányítása mellett gondolt a dolgozók egészségügyi és kulturális ellátására is. Rendszeresek voltak az ismeretterjesztő előadások, rendezvények. E mellett számos létesítménnyel gazdagította a települést: kényelmi lakótelepet, emeletes házakat, kaszinó-szállodát, szökőkutat, strandot, fürdőt és egyéb sportlétesítményeket építtetett, megteremtve ezzel a városias lét alapjait.

Kevésbé közsímsert róla egy zsidómentő tevékenysége. A háború idején a holokauszt elől Ajkára menekített zsidó származású hölgyet bújtatott álnéven és személyes védelmet biztosított számára. Ez a rejtegetett hölgy *Pátzay Pál* szobrászművész felesége, *Liebermann Lucy* volt –



■ 3. kép. Petneházy Antal (kutyája mellett) és a részvényesek egy csoportja az építkezésen

mint ahogy ezt egy helyi helytörténész kiderítette.

Magyarországot 1944. március 19-én megszállták a német csapatok. Ebben az időben az ajkai üzemben németellenes hangulat uralkodott, mely nyilasellenességgel párosult. Ebben jelentős szerepe volt Petneházy Antal igazgatónak, aki élesen elhatárolta magát a németbarát csoportoktól.

Petneházy Antal 1944. január 27-én, végkielégítéssel távozott Ajkáról. Lemondásában, illetve egyesek szerint a lemondatásában valószínű, hogy nagy szerepet játszott németellenes magatartása is. Ezután a Balaton mellett visszavonultan élt. A második világháború után megpróbált

bekapcsolódni a gazdasági életbe, és részt vett a Kossuth-híd építési munkáiban, majd a Bányászati Kutató Intézet külső munkatársaként főleg fordítói munkát végzett. 1973-ban halt meg Budapesten, a Farkasréti temetőben nyugszik.

Petneházy Antal, mint az ajkai timföldgyár és alumíniumkohó építője a magyar alumíniumipar egyik úttörőjének tekinthető.

Irodalom

- [1] *Tilhof Endre*: Ajkai krónika. Ajka, 2009
- [2] *Tilhof Endre*: Ajkai életrajzi lexikon 1. Ajka, 2003
- [3] *Varga Ferenc* (szerk.): Veszprém megyei életrajzi lexikon. Veszprém, 1978
- [4] *Dr. Köves Elemér*: Az alumínium jövőjén munkálkodtak: Petneházy Antal Alumínium, 1988
- [5] *Hartinger Ottó*: Egy városalapító. Hartinger Ottó honlapja
- [6] *Móritz István, Pinkavölgyi Attila*: Regél a múlt... Kézirat, 1968
- [7] *Sipos Ottó Tibor*: Timföldgyártás, alumíniumkohászat Ajkán a XX-XXI. században. VEOL; 2013.09.20.

✍ **Paksa Rudolf**

■ EGYESÜLETI HÍREK

A helyi szervezet szerepe és felelőssége. Dunaújvárosban üléseztek a Vaskohászati Szakosztály vezetői

A Dunaújvárosi Kereskedelmi és Iparkamarában március 25-én tartotta vezetőségi ülését az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület Vaskohászati Szakosztálya. *Bocz András* szakosztályi elnök köszöntötte a megjelenteket, majd vetített képes beszámolóban értékelte a Dunaújvárosi szervezet elmúlt évi tevékenységét.

Az idei év programjai sorából nem

hiányozhatnak ezúttal sem a jubileumok, így a város és a vasmű alapításának 65., a Meleghengermű átadásának 55. évfordulója. *Dr. Kiss Endre* társelnök a főiskola hallgatók részvételéről biztosította a program szervezőit a május 29–30-án Egerben tartott X. Bányász–Kohász–Erdész Találkózón.

A választmányi ülésen elhangzottakat *Hevesi Imre*, az OMBKE szer-

vezőtítkára osztotta meg hallgatóságával. *Dr. Tardy Pál* választmányi tag hozzászólásában nyomatékosította a dunaújvárosi szervezet szerepét és felelősségét a vaskohászati szakosztály töretlen ívű működésében. Felhívta a legrangosabb tudományos rendezvényekre a figyelmet: a júniusi düsseldorfi European Steel Technology, valamint a szeptember 8–9-én, Budapesten tartandó Clean Steel

Nemzetközi Vaskohászati Konferenciára. Ez utóbbi érdekessége az évek óta tapasztalható tendencia, ami szerint a tanácskozáson az európai előadók száma csökken, a kínai előadóké pedig növekszik.

A Diósgyőri Helyi Szervezettől *Nyitrai Dániel* utazott Dunaújvárosba. Elmondta, hogy 2008 óta klubszerűen működnek, karöltve a bányászokkal, erdészekkel, egyesületen kívüli tagok is részt vesznek a havi gyakoriságú programjaikon, amelyek többségét a Diósgyőri Kohászati Múzeumban tartják. Legújabb gyűjteményükben makettek mutatják be az egykori gépgyár és kohászat technológiai folyamatait, berendezéseit. Több mint húsz kötetben megírták a gyártó- és kiszolgáló művek múltját, továbbá tervezik az öntöde és kovácsüzem történetének feldolgozását.

A Salgótarjáni Szervezet képviselőjében *Liptai Péter* beszámolt a mögöttük hagyott esztendő változásairól, és szokásos programjairól. Ők 1994-ben egyesültek, 2008 óta rendezik a Salgótarjáni Ipartörténeti



■ A vezetőségi ülés résztvevői

Napokat. A Bányamúzeumot éppen 50 éve nyitották meg.

A Budapesti Szervezet korábbi elnöke, *dr. Csirikusz József* értékelőjükből kiemelte, hogy minden évben nagy gonddal készítenek elő egy-egy szakmai kirándulást. Tavaly a győri Audi gyárat nézték meg, de nem maradhatott el a városlátogatás sem.

A műszaki múzeumok, emlékhelyek, gyűjtemények körül kialakult

áldatlan helyzet kapcsán szóba került a Somogyfajszai Emlékhely leromlott infrastrukturális állapota. Biztató azonban a „Közép-Európai Vaskultúra Útja Egyesület” áldásos tevékenysége, amelynek során 2014-ben hat nagyrendezvényükön több mint 2000 ember vett részt.

Szente Tünde

Emlékeztető az OMBKE 2015. április 28-i választmányi üléséről (kivonat)

Az ülésen az OMBKE Mikoviny tanácstermében 14 fő választmányi tag és 7 fő tanácskozási jogú meghívott vett részt.

Dr. Nagy Lajos elnök bevezetőjében az elmúlt időszak néhány kiemelkedő rendezvényéről beszélt; többek között a Fémkohászati Szakosztály március 15-ére emlékező, hagyományos ünnepi vezetőségi üléséről. Tájékoztatta a választmányt az Egerszalókon, 2015. március 19–20-án tartott, nagy sikerű bányászati konferenciáról.

Ismertette, hogy a 2015. március 26–29-én, tizenhetedik alkalommal megrendezett erdélyi konferencián 167 fő vett részt, amelyből az

OMBKE tagok száma 72 volt. Bejelentette, hogy 2015. április 1-jén a Magyar Kereskedelmi és Iparkamara szervezetén belül megalakult a Bányászati Munkabizottság, amelynek vezetésével őt bízták meg. A Munkabizottság feladata a szakmai lobbitevékenység segítése.

Az OMBKE 2014-es gazdálkodásáról, mérlegéről és közhasznúsági jelentéséről szóló beszámolót az Ellenőrző Bizottság és a Könyvvizsgáló észrevételeivel kiegészítve a Választmány elfogadta és a Közgyűlés elé terjeszthetőnek tartotta.

Ezután a Választmány a soron következő, 105. közgyűlés, és a Bányász–Kohász–Erdész Találkozó

lebonyolításával kapcsolatos kérdéseket tárgyalta meg.

Az Egyetemi Osztály által elkészített, „A fiatal egyesületi tagok bevonása és megtartása érdekében készült intézkedési terv”-et azzal a kiegészítéssel fogadta el, hogy a Vaskohászati Szakosztálynak ezt adaptálnia kell a Dunaújvárosi Főiskolára és az Óbudai Egyetem hallgatóira vonatkoztatva is.

A Választmány az Alapszabály Bizottság vezetésével *dr. Lengyel Károlyt* bízta meg.

Dr. Gagyai Pálffy András emlékeztetője alapján összeállította

Balázs Tamás

Helyreigazítás

A 2015/2. lapszámunk 41. oldalán kezdődő „50 éves az Öntészeti Tanszék” című cikk végéről sajnálatos módon lemaradt a cikk írójának, **Lengyel Károlynak** a neve.

A szerkesztőség *dr. Lengyel Károly* és Tisztelt Olvasóink elnézését kéri a hibáért.

BT

Tudósítás a Magyar Öntészeti Szövetség 24. közgyűléséről

A Magyar Öntészeti Szövetség 2015. május 27-én tartotta 24. közgyűlését, már hagyományosan a Savoyai-kasztélyban, Ráckeven.

A közgyűlést Kovács Sándor elnök nyitotta meg és vezette le.

A korábban megküldött beszámolókhöz az ügyvezető főtitkár szóbeli kiegészítéseket tett:

- tájékoztatót, hogy a szövetség taglétszáma ez évben már három társasággal bővült, elérte a 90-et;
- ismertette a Nemzeti Kereskedőház Zrt.-vel kialakult/kialakuló együttműködési lehetőségek lényegi elemeit;
- a győri Lukács Sándor Szakiskolában és a csepeli Weiss Manfréd Szakiskolában folyó, a Szolnoki Műszaki Szakiskolában 2015 szeptemberétől induló, a sátorlajújhelyi Trefort Szakiskolában és a békéscsabai Szakiskolában 2016 szeptemberétől induló „Járműipari fémalkatrész-gyártó”, iskolarendszerű szakképzés helyzetét ismertette;
- a hazai felsőfokú, öntészeti szakirányú mérnökképzés keretében elismeréssel szolt a hazai öntödék és a ME-MAK Járműipari Öntészeti Intézet közös erőfeszítése eredményeként 2015 szeptemberében induló BSc duális képzésről;
- tájékoztatást adott a 23. Magyar Öntőnapok rendezvény (2015. október 9–11.) előkészítéséről;
- figyelemfelhívással fordult a jelenlévőkhöz a MÖSZ-díj pályázatok igénybevétele miatt.

A közgyűlés elfogadta a MÖSZ elnökségének beszámolóját a 2014. évben végzett munkáról, a MÖSZ Elnörszö Bizottság 2014. évi gazdálkodására vonatkozó jelentését a költségvetés teljesítéséről, a 2014. évi egyszerűsített mérlegbeszámolót és az eredménykimutatást, valamint a MÖSZ 2015.

évi költségvetési- és munkatervét.

Dr. Takács Nándor, a MÖSZ-díj Kuratórium elnöke ismertette a 2015. évi MÖSZ-díjak odaítélésének eredményét. A díjakat a Kovács Sándor elnök adta át.

- a Kiváló Fiatal Öntész MÖSZ-díjat Mende-Tokár Monika (Miskolci Egyetem),
- a MÖSZ-díjat Farkasinszky Gábor (Magyararmet Kft., Bicske),
- a MÖSZ Életmű-díjat dr. Lengyel Károly (TP Technoplus Kft.) kapta (l. kép).

A 2015-ben Fiatal Öntész MÖSZ-díj és a MÖSZ-díj kitüntetést elnyert szakemberek a korábbi szokásrendnek megfelelően pályamunkáikról előadást tartanak a 23. Magyar Öntőnapok rendezvényen.

A közgyűlésen átadták a Nándori Gyula-emlékérmeket is. A 2014. évi emlékérmeket dr. Bakó Károly, a MÖSZ exelnöke, címzetes egyetemi tanár, a 2015. évit dr. Sohajda József, a MÖSZ exelnöke, a Csepel Metall Kft. tulajdonosa kapta.

A közgyűlésen hozzászólásában dr. Dúl Jenő (Miskolci Egyetem) és dr. Varga László mb. intézetigazgató (Miskolci Egyetem) tájékoztatást adott a Miskolcon ősztől meginduló, BSc duális öntömérnök-képzés (járműipari fémalkatrész-gyártó mérnök) 2014. év

Termelés, t	
Megnevezés	2014. év
Vasöntvény	74 477
Acélöntvény	12 096
Alumíniumöntvény	101 423
Nehézfém öntvény	5 555
Magnéziumöntvény	965
ÖSSZES ÖNTVÉNY	19 4516

során és a 2015. év elején elvégzett munkájáról, annak eredményéről.

A közgyűlés főtitkári beszámolója érintette az európai és a hazai öntészet 2014. évi termelési eredményeit a CAEF Európai Öntészeti Szövetség és a MÖSZ adatszolgáltatása alapján: Negatív ipari várakozási indexek mellett a CAEF 24 országában a vas- és acélöntészetben 2014-ben 1,5-2%-os visszaesés, míg a fémöntészetben 3,3-3,5%-os növekedés, az öntészeti ipar egészében csak 0,1-0,2%-os növekedés volt. Az építőiparban a növekedés már pozitív volt, de a 2008-as szint csak mintegy 95%-át érte el a teljesítmény; az előrejelzések szerint éves 3,5-4%-os növekedés várható 2018 végéig.

2016-os munkakezdéssel várhatóan 2018-tól lesz érvényes az öntödei BAT (legjobb lehetséges technológiák) felülvizsgált rendszere.

Az EU-ban komoly vita folyik arról, hogy a belélegezhető SiO₂ a veszélyes vegyi anyagok vagy a rákkeltő anyagok között szerepeljen-e.

A hazai általános öntészeti helyzet:

A 2014. évben a hazai öntödék kis mértékben növekvő teljesítményt értek el, és ez a tendencia 2015-ben is tartható lesz. Magyarországon a járműipari beszállítások tartós növekedése mellett a vas- és acélöntészet meghatározó szereplőinek (BUSCH Hungária Kft., WESCAST Zrt.) kapacitásnövelése határozza majd meg az öntőipari



■ Balról jobbra a díjazottak: Farkasinszky Gábor, Mende-Tokár Monika, dr. Lengyel Károly

termelés növekedését 2018-ig – mintegy 20%-os növekedés várható a vasöntvénytermelésben (25 000-30 000 tonna), 12 000-13 000 tonna növekedés az acélöntvény-termelésben, 11 000-12 000 tonna növekedés az alumíniumöntvény-termelés-

ben a piaci igények magasabb szintű kielégítése miatt.

A háttérpári cégek szerény forgalomnövekedés mellett növekvő árbevétel érték el, viszont csökkent a műszaki segítségadási tevékenységük.

A bérelt munkaerő igénybevételé-

nek lehetősége jelentősen romlott, csökken a megfelelő adottságú szabad munkaerő, és a törvényi szabályok is szigorodtak.

Az elmúlt év magyar öntészetének termelési adatai a táblázatban láthatók.

 HP

**A Magyar Öntészeti Szövetség
és az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület
Öntészeti Szakosztálya**

meghívja az érdeklődő szakembereket a

**23. Nemzetközi–Magyar Öntőnapok
rendezvényre**

A rendezvény ideje: 2015. október 9–11.

A rendezvény helye: Hotel Abacus www.abacus.hu

2053 Herceghalom, Pest megye

Részletes tájékoztató és program: www.foundry.matav.hu

**The Association of Hungarian Foundries
and the Hungarian Mining and Metallurgical Society' Foundry Section
invite you to the events of the**

23rd International–Hungarian Foundry Days

held in the Hotel Abacus www.abacus.hu

on 09-11. October, 2015

**Address: 3 Gesztenyés, Herceghalom 2053 Pest County
(in the neighbourhood of Budapest)**

More information and program: www.foundry.matav.hu

Az MTA Metallurgiai Bizottság ülése

A Magyar Tudományos Akadémia Metallurgiai Bizottsága 2015. április 2-án tartotta soros bizottsági ülését Székesfehérváron. Folytatva a jól bevált bizottsági hagyományt a kihe-lyezett ülést egy érdeklődésre szá-mot tartó szakterület fontos hazai üzemének, az Oerlikon Balzers cég székesfehérvári telephelyének meg-

látogatásával egybekötve rendezték meg.

Az ülést *Török Tamás*, a Metal-lurgiai Bizottság elnöke nyitotta meg. Az ülés résztvevői megemlékeztek *Zámbó Jánosról*, aki a fémkohászat szakterületének művelése, fejleszté-se területén kiemelkedő eredménye-ket ért el, és a Metallurgiai Bizottság

keretében is hasznos, lelkiismeretes munkát végzett. Zámbó János szak-mai életútját *Horváth János* ismertet-te és méltatta.

Az elnök áttekintést adott az új összetételű bizottság eddig végzett tevékenységéről és feladatairól. Ösz-szefoglalásra és megvitatásra kerül-tek azok a javaslatok, amelyek a

Miskolci Egyetemen folyó metallurgiai kutatások új irányairól szóló beszámoló előkészítését szolgálják. A javaslatok lényeges elemeit a bizottság tagjai az ülés előtt e-mailben kapták meg. Részletes vitát folytattak arról, hogyan lehetne a metallurgiai tudományterülethez kapcsolódó tudományos, illetve szakmai iskolákat és műhelyeket, szélesebb szakmai kör számára megismerhetővé tenni, valamint az ezekben folyó munkákat és az elért eredményeket tematikusan összefoglalni. Ez a Bizottság számára a következő időszak egyik fontos feladata.

A Bizottság gratulált Kékesi Tamás professzornak állami kitüntetéséhez. Kékesi Tamás mint a Miskolci Egyetem tudományos és nemzetközi rektorhelyettese ismertette az egyetemi és a kari kutatási feltételeket.

A bizottsági ülés első részének a Székesfehérvári Alumíniumipari Múzeum adott otthont. Fülöp Krisztián múzeumvezető mutatta be a megnyitás előtt álló, teljesen megújult Alumíniumipari Múzeumot, amelyben uniós támogatás segítségével korszerű mul-

timédiás oktatótereket és virtuális pontokat alakítottak ki. Az ALUCHEM oktatóteremben rendhagyó kémia, fizika és anyagismereti órákat és kreatív foglalkozásokat lehet tartani. A létrehozott öt virtuális pont mindegyike valamely kiállításához kapcsolódik, a kohászati folyamatot filmekben elevenítve fel.

Kiemelkedő érdeklődés kísérte Ligeti Gábor cégvezető előadását a vendéglátó Oerlikon Balzers cég székesfehérvári telephelyének történetéről, tevékenységéről, valamint fejlesztési és termelési jellemzőiről. A „Bevonatos szerszámok – Felülettechnikai világceg a magyarországi fémipar szolgálatában” címmel elhangzott előadás mind termelési, gyártástechnológiai, mind anyagtudományi szempontból egyaránt informatív és érdekes volt. Az előadást követően számos kérdésre kaptak választ a Bizottság tagjai.

Az Oerlikon Balzers világszerte egyik vezető gyártója a keménybevonatoknak, amelyek jelentősen megnövelik a precíziós alkatrészek valamint a fém- ill. műanyagfeldolgozó szerszámok teljesítményét és élettar-

tamát. A cég által kifejlesztett keménybevonatok extrém vékonyak, de többszörösen keményebbek az edzett acélnál, valamint jelentősen csökkentik a fellépő súrlódást és kopást. Mindemellett az Oerlikon Balzers saját maga fejleszti a bevonatolási eljárásokat, gyártja és értékeseíti a berendezéseket ill. a termelőegységeket, bevonatait pedig egy globális, Európán, Amerikán és Ázsián átívelő, több mint 100 gyártóüzemet magába foglaló hálózaton keresztül kínálja.

A bizottsági ülés második részében az Oerlikon Balzers magyarországi telephelyének megtekintésére került sor. Az üzemlátogatás az üzemszervezési, a gyártástervezési és a fejlesztési eredmények gyors gyakorlatba vitelének szempontjából egyaránt impozáns volt. Kiemelt érdeklődés kísérte a szükséges hőkezelések vákuumterének kialakítását és a jellemző paraméterek beállítását. Az üzemlátogatást követően további kérdésekre kaptak választ a Bizottság tagjai.

 Imre József

Kibővült a Diósgyőri Ipartörténeti Emlékház

Az Emlékházat az Északkelet-Magyarország Ipartörténetének Ápolásáért Alapítvány működteti. Ez egyben az Alapítvány székhelye is. A 2008-ban létrehozott Emlékház 2014-ben Miskolc mvj. Önkormányzatának adományaként kibővült, és ma már elfogadható körülményeket biztosít a jelentős ipartörténeti anyag tárolására, feldolgozására és bemutatására.

Az Emlékház 14 helyiségből áll, melyből 7 helyiségben az ipartörténeti anyagok láthatók, a többi helyiség irodai, raktározási és szociális célokat szolgál.

A bemutatott gyűjtemény a Diósgyőri Vasgyárból, a Diósgyőri Gépgyárból, a Borsodi Ércelőkészítő Műből, és a Csavar- és Húzottáru Rt.-ből származik. Az alapítványi gyűjtés mellett igen jelentős a magánadományok száma. Az állandó kiállítás fő csoportjai a következők:

- Dokumentumok. 70-113 éves acélgépgyártási adagkönyvek, 110 éves öntőminta nyilvántartó könyvek, 70 éves nemesacél kovácsolási technológiák, nyersvasgyártási technológiák, nagyolvasztói, acélműi, hengerműi, öntődei üzemi naplók, az ércelőkészítés üzemi dokumentumai. Igen jelentősek a rendszerváltás utáni átalakulások és felszámolások dokumentumai.
- Rajzok. Eredeti rajzok az 1880–1890-es évekből a vasgyár telepítéséről, és a két világháború közötti időszakra, a nagyvállalati időszak fejlesztéseiről (pl. III. sz. kohó, Nemesacél Hengermű, Kombinált Acélmű, az infrastrukturális fejlesztések).
- Fényképek. A Diósgyőri Vasgyár nagyrészt lebontott üzemait nagyméretű fényképek mutatják be. Igen gazdag a Diósgyőri Gépgyár

termékeit bemutató 14 tablóból álló ún. vándorkiállítás, valamint a több ezer fényképet tartalmazó fiókos fényképtár.

- Makettek. A Diósgyőri Vasgyár üzemének tevékenységét jól szemléltető makettek: elektrokemence, elektroacélmű, hengerállványok, ellenűtő kalapácsok, sorjázó sajtó, húzógépek, kábelgépek, megmunkáló gépek, targonca, szöggyártó gép, sincsavargyártó gép, a Borsodi Ércelőkészítő Mű makettje.
- Egyéb relikviák. Nagyszámú évfordulós plakett, reliefs, szobrok, dísz tárgyak, öntőminták, öntvények, üzemekben használt eredeti mérő és ellenőrző eszközök, termékminták (1892-től), művészeti alkotások.

Az Ipartörténeti Emlékház látogatottsága igen jelentős, mivel a Diósgyőri Vár Turistacentrumában

található. 2014-ben több mint 1000 látogatója volt Magyarországról és a négy földrész 15 országából.

Az Emlékház egyben a hagyományápolás centruma is. Itt történik a Fazola Fesztivál szervezése, a kihelyezett kiállítások előkészítése, itt rendeznek egyéb ipartörténeti találkozokat, OMBKE rendez-

vényeket, iskolás csoportok fogadását, kiadványok szerkesztőinek összejöveteleit.

A 2014. évi igen aktív tevékenység pályázat útján a Nemzeti Együttműködési Alap támogatásával valósult meg

**Sipos István –
Simon István**

Az Ipartörténeti Emlékház székhelye:
3535 Miskolc, Bartók Béla u. 1.

Nyitva tartás:
kedden és pénteken 10–13 óra között.
Csoportos látogatás egyeztetés alapján
e-mail: postmaster@ekmita.t-online.hu,
honlap: www.ekmita.t-online.hu



HUNGAROKORR 2015 NEMZETKÖZI KORRÓZIÓVÉDELMI KONFERENCIA

BUDAPEST mellett, Törökbálinton és Százhalombattán
2015. szeptember 15–17.

Az Európai Korrozíós Szövetség (European Federation of Corrosion, EFC) Reg.No. 399 számmal hivatalosan is regisztrálta a **Magyar Korrozíós Szövetség (HUNKOR)** kezdeményezésére és immáron 16. alkalommal megrendezésre kerülő HUNGAROKORR KONFERENCIÁT.

A rendezvényre három kiemelkedő külföldi szaktekintélyt is várnak a szervezők:

Prof. Dr. Pier Luigi Bonora (AITIVA, Olaszország): **Néhány megjegyzés a védőbevonatok világából**

Prof. Dr. Rajan Ambat (Technical University of Denmark, Dánia): **Elektronikai eszközök korrozíós megbízhatósága**

Prof. Dr. Gregor Mori (Montanuniversität Leoben, Ausztria): **Auszenites rozsdamentes (ún. korrózióálló) acélok ellenálló képessége a feszültségi korrozíós repedéssel/töréssel szemben**

A rendezvénytársorozat első napjára ipari fórumot, a második napra tudományos konferenciát szerveztek, a harmadik napon az érdeklődők üzemlátogatáson vehetnek részt.

A háromnapos konferencia helyszínei:

Törökbálint, 2015. szeptember 15–16.: IPARI FÓRUM és TUDOMÁNYOS KONFERENCIA
Magyar–Szlovák Üzleti és Tájékoztatási Központ
2045 Törökbálint, Kazinczy u. 124/b. (PMKIK)

Százhalombatta, 2015. szeptember 17.: Üzemlátogatás a MOL Nyrt. finomítójában

Kapcsolattartók / Contact:	Nagy Andrea, PMKIK	Tóth László János, HUNKOR
Telefon/Phone & Mobil/Cell:	+36 23 517 985 (Tel/Phone)	+36 70 5530233 (Mobil/cell)
Telefax:	+36 23 317 7755	
e-mail:	nagy.andrea@pmkik.hu	
Honlap/Homepage:	http://www.corrosion.hu/hungarokorr2015	
Facebook:	Hungarokorr 15-17 Sept. 2015 Budapest, Hungary	

Múzeumok éjszakája az Öntödei Múzeumban

Az MMKM Öntödei Múzeuma 2015-ben is csatlakozott a Múzeumok Éjszakája országos rendezvénytársozathoz. A múzeum délután nyitotta meg kapuit a látogatók előtt a „Legyél te is tűzmester” játékos múzeumpedagógiai foglalkozással, amely az öntő és a kovácsművességhez kapcsolódott. A foglalkozás irányítója **Nagy Anikó** múzeumpedagógus és az iskolai közösségi szolgálat öt tagja volt.



■ Kovácsolási és formázási bemutató a múzeum kertjében (Fotó: Nagy Réka)

Ezután „Öntödei Múzeum végállomás!” címmel **Badár Sándor** Karinthy-gyűrés humorista és színművész szórakoztatta a közönséget. 19:00 órakor nyitottuk meg a „Tűzmesterek” című kiállítást, amelyet a Magyarországi Kovácsmíves Céh tizennégy mestereinek és egy műhelyének remekműveiből állítottunk össze. Köszöntőt **Janovszki Tamás**, az MMKM főigazgató-helyettese mondott. A kiál-

lítást dr. Pandur Ildikó, az Iparművészeti Múzeum művészettörténésze nyitotta meg. A kiállítás 2016. március 15-ig lesz látható a múzeumban.

A múzeumkertben tábori kovácsműhelyt állítottak fel a Magyarországi Kovácsmíves Céh tagjai, és egy céhjelvényt készítettek a múzeum részére. A Régi idők Műhelye kovácsmesterei, Bartos Mihály és Imreh Máté,

valamint Kocsy Márton és Takács Zoltán kovácsmesterek beavatták az érdeklődőket a kovácsművesség rejtelmeibe, és a vállalkozók kipróbálhatták a kovácsolást.

Az este hátralévő részében kiscsoportos tûrak keretében a látogatók a „Pincétől a padlásig” megismerkedhettek a múzeummal és betekintést nyerhettek egy XX. századi öntőde

működésébe. Az éjféli kupolótúra számos érdeklődőjét Huszics György nyugalmazott tárlatvezető fáradságtalanul kalauzolta az épületben. Folyamatosan vetítettük az „Itt felejtették” című, az 1964-ben bezárt öntőde utolsó munkanapjáról szóló dokumentumfilmet.

 Csibi Kinga

II. Reisz Péter Emléktúra

Erdélyi tanulmányút 2015. szeptember 24–27.

2015 szeptemberében Reisz Péter bányamérnök, a romániai sóbányák nyugalmazott vezérigazgatója, a hét erdélyi sóbányavállalat irányítója halálának 15. évfordulójáról, sóvidéki munkássága kezdetének 41. évfordulójáról emlékeznek meg az utódok. Az OMBKE kezdeményezésére és Reisz Péter személyes közreműködésével 1996-ban Parajdon alakult meg az EMT Bányászati, Kohászati és Földtani Szakosztálya. A szakosztály az OMBKE-vel közösen minden évben valamelyik erdélyi városban konferenciát rendez.

Program

2015. IX. 24. Indulás Budapestről 5.00, Kecskemétről 6.30 órakor. Utazás Biharkeresztes – Nagyvárád – Aranyosgýeres – Erdőszentgyörgy – Hármásfalu útvonalon, a temetőben Reisz Péter sírjának megkoszorúzása. Szállás és vacsora Parajdon. Esti fürdési lehetőség a sós-nyitott strandfürdőben.
2015. IX. 25. Egész napos kirándulás Szováta – Vármező (pisztrángos) – Bucsín-tető – Gyergyószárhegy – Gyilkos-tó útvonalon. Kora esti sóbánya-látogatás, a bányában Emlékszakestély a meghívott parajdi erdészek és bányászok részvételével.
2015. IX. 26. Részvétel a parajdi XX. Tündérkert Nemzetközi Töltötkáposzta Fesztiválon. Ebéd Parajdon, utána kirándulás Korondra, Székelyudvarhelyre és Szentegyházára. Vacsora a Telegdy Vendéglőben.
2015. IX. 27. A XXVIII. Rezesbanda találkozó felvonulása után hazautazás, útközben ebéd Tordaszentlászlón. Megérkezés a késő esti órákban.

Jelentkezés 10.000 Ft/fő előleg befizetésével 2015. VII. 31-ig (OTP Bank 11773322-04910073), Reisz Péter Emléktanulmányút és név/nevek feltüntetésével a közlemény rovatban.

Részvételi díj: kalkuláció alatt. Minimális résztvevő 30 fő.

Jó szerencsét! Üdv az Erdésznek!

Dánfy László, elnök

30-959 7204, danfy.laszlo@t-online.hu

FROM THE CONTENT

Continued from page B2

Rontó V. – Tranta F. – Svéda M. – Roósz A.: Effect of the added Zn on the microstructure and solidification properties of Sn-Bi solder alloy ... 33

At development of new Pb-free solder alloys, attention must be focused on such properties, such as liquidus temperature (start of solidification), temperature or time interval of the mushy zone, microstructure, mechanical properties, wetting, etc. Adding Zn to the base Sn-Bi alloys microstructure and thermal properties were investigated.

Szabó G. – Mertinger V. – Zupkó I. – Mikó T. – Roósz A.: Technological investigation of clad sheet bonding by hot rolling ... 38

In this study the bonding properties of three layered aluminum sheets are investigated. The alloys applied in specific layers. The bonding was

performed on a Von Roll experimental roll mill using hot rolling. The experimental temperatures were 460, 480 and 500 °C, respectively. To qualify bond development, T-peel test was used. The test was performed using an Instron universal material testing machine. T-peel test can be well used for the qualification of bond strength as the peel-off force and bond value developed on contacting surfaces are proportional. In addition to T-peel test, optical micrographs and SEM micrographs were also captured, in which typical bond faults were sought. The study aims at modelling the technology used in industry and exploring some typical bond faults as well as suggesting the causes generating these and their remedy. The impact of surface roughening before heating was studied as well. Also, the study aimed at confirming the suitability of T-peel test to qualify bond strength.

Mekler Cs. – Baranyai V. – Dezső A. – Trampus P. – Kresz N. – Kaptay Gy.: Modelling the grain boundary energy, the grain boundary segregation and the grain boundary transition in multicomponent alloys ... 43

It is shown here how the Butler equation can be extended to make it capable to calculate interfacial energies at grain boundaries (GB) and segregation of components to GBs, including the prediction of the phenomenon of grain boundary segregation transition (GBST). GBST is a first order transition, which appears in alloys in which components have a strong positive (repulsive) interaction, leading to solid state phase separation at higher concentrations of the segregating component.

70. születésnapját ünnepelte

Hegymegi-Kiss György 1944. június 29-én született Ózdon. 1967-ben a miskolci Nehézipari Műszaki Egyetem Kohómérnöki Karán vas- és fémkohó-

mérnöki diplomát szerzett. Szakmai pályáját a tanulmányait ösztöndíjjal segítő vállalatánál, a diósgyőri Lenin Kohászati Műveknél kezdte. A Martin Acélműben kementesori acélgyártó volt. Ezután a Tüzelésellenőrzés vezetője lett. Rendszeresen vett részt különféle fejlesztési feladatok megoldásában. Súlyos üzemzavarokat hárított el, újításokat dolgozott ki. Tevékenyen részt vett a biztonságos üzemeltetésben, az energiatakarékosság és a termelés növelésében. Ezen időszak alatt háromszor szerezte meg a Kiváló Ifjú Mérnök címet. Társadalmi munkában vállalati szinten sikeresen szervezte a fiatalok szakmai versenyeit, amiért Ifjúsági Érdemérem kitüntetést kapott.

1975-ben a Tüzeléstani Kutató Intézetben az Acélkohászati és Szilikátipari Osztályra meghívták tudományos munkatársnak, később tudományos csoportvezető lett. Első komoly feladata a hazai martinacélművek tüzelőberendezéseinek műszaki összehasonlító vizsgálata volt (Csepel, Diósgyőr, Dunaújváros, Ózd). Erről részletes tanulmány készült. Ezután az Ózdi Acélműben végzett különféle tüzelési kísérleteket, majd cementgyári és téglagyári tüzelőberendezések fejlesztésével foglalkozott.

Egy nemzetközi pályázat megnyerése után Németországban, Tübingenben a Maxhütte Kombinát konverter acélművében a szárító és kiegészítő tüzelőberendezések olajtüzelésről gáztüzelésre való átalakítását, tervezését, gyártását és beüzemelését irányította. Ezután Montenegróban, Niksicben dolgozott. Az elektroacélműhöz kellett a meglévő, nem működő mészégető aknakemen-cét átalakítani és beüzemelni.

A 90-es évektől szilikátipari tüzelőberendezések, majd alumínium-, réz-, cink- és ólomolvasztó berendezések fejlesztésével foglalkozott. Többször vett részt egyetemi kutatómunkában. Pályája végén a DUNAFERR Erő-

művében is dolgozott. 2005-ben ment nyugdíjba fejlesztő mérnökként.

Még egyetemista korában lett az OMBKE tagja. 2007-ben kapta meg 40 éves egyesületi tagságáért a Sóltz Vilmos-émlékérmét.



Gál János 1945. május 28-án a Diósgyőrhöz tartozó Pereces bányatelepen született bányász család negyedik gyermekeként. Gyermekkorát Diósgyőrben töltötte, itt érettségizett a Gábor Áron Kohó- és Öntőipari Technikumban 1963-ban. A miskolci Nehézipari Műszaki Egyetemen 1969-ben technológus kohómérnöki diplomát szerzett, az Inotai Alumíniumkohó ösztöndíjasaként. Diplomatervében alumínium huzalgyártó üzem tervezését végezte. Inotán ez a munka várta, a Műszaki Fejlesztési Osztályon technológus mérnök lett, majd 1972-decemberétől az új huzalhúzó üzem első üzemvezetője.



1977-től a vállalat igazgatási szervezetében töltött be különböző vezetői tevékenységeket, a 90-es évektől újra technológiai, fejlesztési majd marketing osztályon volt vezető.

1998-ban vállalata, de már mint a Magyar Alumínium Rt. Huzalgyártási üzletágvezetője, majd divízióigazgatója, e munkakörből ment nyugdíjba 2003-ban.

Munkáját vállalati Kiváló Dolgozó kitüntetésekkel, majd Ipari Miniszteri Kiváló Munkáért kitüntetéssel ismerték el. Elnyerte a Veszprém Megyéért érdemérmét. Egyetemi kapcsolatainak elismeréseként a 2005-ös végző évfolyam Tiszteletbeli Évfolyamtársává választotta.

Több alkalommal felkérték diplomatervek opponensi feladataira és diplomák bírálatára.

Egyesületünknek 1967 óta tagja. Egyesületi munkáját 1973–1981-ig az inotai helyi szervezet titkáráként végezte. Két alkalommal, 1991-től 1994-ig, majd 1996-tól 1999-ig megválasztották a helyi szervezet elnökének, nyugdíjazása után egy évig megbízott elnöke volt a helyi szervezetnek. Az OMBKE tisztújításaiban két alkalommal vett részt, volt jelölő bizottsági tag, a Fémkohászati Szakosztály képviselő-

tében, egyben a szakosztályi jelölő bizottság vezetője is. Két évig az egyesület választmányja mellett működő Oktatási Bizottságot is vezette.

Egyesületi kitüntetései: OMBKE emléklapok 1995, z. Zorkóczi Samu-émlékérem 2001, Sóltz Vilmos-émlékérem 2007.

Galambos Sándor 1945. június 24-én született Hajdúhadházon. Az általános iskola elvégzése után 1959-ben Vácrára került öntőipari tanulónak. 1962-ben az Április 4. Gépgyárban fejezte be az ipari iskolát. Ugyanebben az évben elnyerte a Szakma Ifjú Mestere verseny arany fokozatát. 1964-ben Kiváló Dolgozó lett. Ezután a Gamma Művekben dolgozott alumíniumöntőként, majd 1967-ben beiratkozott a csepeli Kossuth Lajos Technikum esti tagozatára, öntőipari szakra, ahol 1971-ben szerezte meg öntőipari technikus képesítését.

1970-ben Budapest, VI. kerületi kisipari műhelyében helyezkedett el, ami közel volt az Epreskerthez, ahonnan a szobrászművészek hozzájuk kezdtek járni, hogy az általuk megálmodott szobrokat bronzba öntessék. Itt ismerte meg a színesfémöntészet rejtelmét. 1973-ban öntészetből letette a mestervizsgát.

1980-ban önállósította magát. Munkássága során nagyobb részt részalapú ötvözetekből öntött érmek, doborművek, kisplasztikák, mellszobrok és nagyméretű szobrok öntésével foglalkozott.

1990-ben megalapította a BZ-ART Öntődei Kft.-t és felépítette Szentendrán a saját öntödét, melyben már jóval nagyobb méretű művészi szob-



rok öntését is tudta vállalni. Nehéz lenne felsorolni a szobrászművészek által megmintázott, s általa készre öntött és kikészített, köztereinket díszítő szobrok sorát, de néhány darabot megemlítnék a sok közül. Szegeden áll több általa öntött szobor, így pl. két lovas szobor, a Szeged múzsája elnevezésű másfeles életnagyságú szobor, egy egészalakos Nagy Imre-szobor, a Dómban látható püspöki szék. A 2000-es hannoveri Expo magyar pavilonja előtt álló másfeles életnagyságú

Pegazus-szobrot, mely ma a WestEnd bevásárlóközpont kapuját díszíti, a zalaegerszegi ágaskodó ló szobrát, a város szimbólumát jelképező, makói nagy Hagyma-szobrot, a egri székesegyház új kapuját, a máriapócsi templom nagykapuját, a siófoki Karinthy Frigyes-szobrot, a velemeri Árpád-kori templom 120 kg-os bronzharangját, valamint a Keleti Pályaudvar homlokzatán lévő szoborcsoport alumínium-magnézium ötvözetből öntött kvalifikál-

tabb részeit is ő készítette. A lakiteleki Népfőiskolának nyolc darab 5/4-es mellszobrot öntött le. Számos szép szoboröntvény dicséri szakmai tudását, hozzáértését, igényességét az Ausztriába, Olaszországba, Szlovákiába, Amerikába, Németországba került alkotásokkal is.

Az Öntészeti Szakosztálynak a 90-es évektől tagja, rendezvényei rendszeres látogatója és támogatója. Többek között az ő ajándéka a soproni

Seltenhofer harangöntő dinasztia házát díszítő emléktábla és az Öntődei Múzeum bejáratánál lévő Kiszely Gyula-emléktábla.

Utóbbi éveiben egészségi problémái miatt vállalkozását felszámolta. Egy-egy jól sikerült szobor leöntése, vagy egy bonyolult öntvény elkészítése azonban még most is kihívást jelent számára, s ha nem is a saját műhelyében, de kollégái segítségével megoldja a feladatot.

■ NEKROLÓGOK

Kováts Tibor László

1942–2015



2015. január 30-án, hosszas betegség után elhunyt Kováts Tibor László metallurgus üzemmérnök, a székesfehérvári Vasöntőde Kft. ügyvezető igazgatója.

1942. május 2-án Budapesten született. A háborús viszonyok miatt édesapját Szőnybe helyezték, így fiatal korát Komáromban töltötte. 1956-ban kezdte meg középiskolai tanulmányait Dunaújvárosban, a Kerpely Antal Kohóipari Technikumban. A érettségét követően 1960-ban helyezkedett el Székesfehérváron a Könnyűipari Szerszámgépgyár öntődéjében, mely egyetlen munkahelye volt. 2005 októberében, mint nyugdíjas főmérnök, betegsége miatt hagyta abba a munkát.

Munkahelyén végigjárta a ranglétrát, gyakornok, csoportvezető, öntődevezető volt. Így kapott megbízást az 1990-es évek gazdasági változásai következtében az öntőde önálló gyáregységgé, majd kft.-vé alakítására. A létrejövő Vasöntőde Kft. első ügyvezető igazgatója Kováts Tibor László volt, ezt a posztot nyugdíjazásáig töltötte be. Ezt követően nyugdíjasként is fontos műszaki beosztásban dolgozott.

Munkájában kiemelt figyelmet szentelt a gyártástechnológiai és a környezetvédelmi fejlesztéseknek. Aktívan bekapcsolódott a fiatal szakemberek (szakmunkások, technikusok, mérnökök) képzésébe, betanításába. Több végzős mérnökhallgató ipari konzulense volt. Szívügye volt a minőségfejlesztés, így a meglevő kémiai és mechani-

kai laborok mellé létrehozta a metallográfiai labort is.

Komoly szakmai kihívást jelentett számára az önálló gyáregység, majd a Vasöntőde Kft. megalapítása. Az önálló gazdálkodás, a kereskedelmi feladatok, a külső rendelések megszerzése, bár nem műszaki feladat volt, de az önálló működés elengedhetetlen feltétele volt, melyet sikerrel oldott meg. Munkáját hat alkalommal ismerték el Kiváló dolgozó cím odaítélésével. 2005-ben kezdődött betegsége miatt megszüntette munkaviszonyát a Vasöntőde Kft.-vel, így nem kellett megélnie szeretett munkahelye felszámolását.

Részt vett a székesfehérvári zene-pavilon teljes felújításának munkáiban, vezetésével öntötték le a műemlékegyüttes hiányzó öntvényeinek jelentős részét. Fontos volt számára az ipari örökség védelme, az öntőszakma sokféleségének és szépségének bizonyítása. Egyesületünknek tagja volt, rendszeresen részt vállalt az egyesületi rendezvények szervezésében. Öntőnapok alkalmából házigazdaként biztosította a szakmai látogatások helyszínét. Amikor betegsége elkezdődött, tagsága megszűnt.

2015. február 25-én Székesfehérváron, a Hosszú temetőben búcsúztak tőle családtagjai, munkatársai, tisztelői és mondtak neki utolsó „Jó szerencsét!”.

 Szombatfalvy Rudolf

Dr. Szabó Lajos

1929–2015

1929. április 9-én Sajóvelezden született. Az elemi iskola öt osztálya után sárospataki diák lett, érettségi után Debrecenben az orvostudományi egyetemen felvételizett. Orvosi diplomáját 1954-ben kapta meg. Két munkahelyen dolgozott az 1993-ban bekövetkezett nyugdíjazásáig.

Első munkahelye az ózdi járási kórház szülészeti, nőgyógyászati osztálya volt szakorvosi megbízatással. 1960 októberétől a Salgótarjáni Acélárugyárban (1968-tól Salgótarjáni Kohászati Üzemekben) üzemi orvosként, majd üzemi főorvosként tevékenykedett.

Munkája során megbízott megyei üzemi főorvosként a fejlődő üzemorvosi hálózat szervezője volt. Így került kapcsolatba a bányászati és kohászati üzemekkel, ahol elismert orvosi tevékenységet folytatott. Kiváló Orvos kitüntetését is ennek a munkának köszönheti.

Nyugdíjazása után nyolc évig önkormányzati képviselőként közéleti munkát végzett. Aranydiplomáját 2004-ben kapta meg.

A kulturális munkában is elismert szerepe volt, elnöki feladatokról vállalt 2001-től az akkor létrehozott Kohász Művelődési Központ társadalmi szervezetben, amely az Acélgyár környékén a több mint 100 éves kulturális életet igyekezett fenntartani.

Egyesületünknek 2003 óta volt tagja. Kirándulásainkon, szakestélyeinken vagy más társas összejöveteleken megcsillogtatta „rímfaragó” képességeit, s ezzel emlékezetes percekhez szerezett a mindenkori résztvevőknek. Kiemelkedő tagja volt Bányász-Kohász Dalkörünknek is.

Élete 2015. január 24-én ért véget.

 Liptay Péter

Dr. Bíró Attila

1931–2015



2015. június 9-én a Farkasréti temetőben kísértük utolsó útjára dr. Bíró Attila emeritus professzort, a műszaki tudomány doktorát, a Miskolci Egyetem volt dékánját, intézet és tanszékvezetőjét, az egyetemi szenátus egykori tagját.

1953-ban szerzett technológus kohómérnöki oklevelet. Első munkahelyén, a diósgyőri Lenin Kohászati Művek durvahengerművében a kemencepark üzemeltetője, majd saját tervei alapján annak megújítója lett. Már itt kitűnt kollegái közül innovatív konstrukciókészségével.

1959-től az egyetemen alakult Hőtechnikai Kutatóállomás osztályvezetőjeként, 1963-tól pedig a kibővült létszámú Tüzeléstechnikai Kutatóintézet (TÜKI) műszaki vezetőjeként fiatal technikusokból és mérnökökből rövid idő alatt ütőképes, országosan elismert kutató-, fejlesztő- és tervezőgárdát kovácsolt.

Konstrukciókban és eljárásokban gondolkodó, azokat leírni és megvalósításukat megszervezni képes, nagy munkabírási, jól kommunikáló és csapatmunkát biztos kézzel irányító vezető volt. Reveszegény- és áteresztőfalú-izzítókemencék, sugárzóblokkos hőkezelő kemencék, hőcserélők, ipari földgázégők kialakításával, kemencék korszerűsítésével meghatározó szerepet vállalt az ipar földgáztüzelésre történő átállításában.

1962-ben egyetemi doktori, 1967-ben kandidátusi, majd 1974-ben a műszaki tudományok doktora címet megszerezve folyamatosan oktatott a BME-en és a miskolci Nehézipari Műszaki Egyetemen. A TÜKI-ben általa elindított Ipari Szemináriumokon folyamatos kapcsola-

tot tartott az ipari szakemberekkel, jól propagálva intézete új fejlesztési eredményeit. Eredeti gondolkodásmódja, jó előadókészsége meggyőzte partnereit és elragadtatta hallgatóit. Tagja lett a MTA Energetikai Bizottságának, és a Nemzetközi Gázunió Gázfelhasználási munkabizottságának.

1979-től a Kohászati Gyárépítő Vállalatnál tervezési tanácsadó, majd Külkereskedelmi irodavezető, s két évig külképviselet-vezető volt az USA-ban. Itt jól hasznosította ipari tapasztalatait és kapcsolatait, többnyelvű tárgyalókészségét, nagyfokú jártasságát tervezői és üzemeltetési kérdésekben, nemzetközi kapcsolatait és ismertségét.

1988-tól a Miskolci Egyetem Tüzeléstan Tanszékének egyetemi tanára, majd a Kohómérnöki Kar dékánja, később az akadémiai munkacsoport vezetője volt. Életpályája ezen utolsó harmadában szívügyévé vált a korábban egyéb tevékenysége mellett folytatott oktatás, tudományos, akadémiai kutató és publikációs tevékenységének fokozása, széleskörű szakmai és vállalkozási ismereteinek önzetlen átadása, hallgatói pályakezdemények támogatása.

Dr. Bíró Attila 16 szabadalmazott találmánya, 5 tankönyve, 6 jegyzete és több mint 150 publikációja jellemzi hat évtizeden átívelő, élete utolsó napjaiig alkotó gazdag életét.

Tevékeny, derűs egyéniségét egy utolsó jó szerencsét kívánva őrizzük meg emlékeinkben.

 Dr. Palotás Árpád

Dr. Szeghegyi Árpád

1929–2015



„Ama nemes harcot megharcoltam, futásomat elvégeztem, a hitet megtartottam. Végezetre eltételezt nekem az igazság koronája, melyet megad nekem az Úr ama napon, az igaz Bíró.”
(Pál II. levele Timóteushoz 4.7-8)

A soproni evangélikus gimnáziumban érettségizett, majd a Soproni Egyetem Kohómérnöki Karán folytatta tanulmányait. Édesapja a Magyar királyi Honvédség kadétskólájában nyelvet tanító tanár volt alezredesi rangban, ezért az akkori politikai hatalom a hátrányos egyéb származású kategóriába sorolta. Csak kiváló tanulmányi eredményeire való tekintettel hagyta, hogy elvégezze az egyetemet.

Kohómérnöki oklevelét 1952-ben szerezte meg Sopronban. Ezt követően aspiránsként három évet töltött az időközben Miskolcra költözött egyetem Általános Géptan Tanszékén. A műszaki tudomány kandidátusa címet 1957-ben szerezte meg. 1955-től 1959-ig a Diósgyőri Kohászati Művek hengerműveiben dolgozott technológusként. 1959-ben a Dunai Vasműben helyezkedett el, ahol az akkor üzembe helyezett meleghengermű technológiáinak kidolgozásával, gyártás-, gyártmány- és távlati fejlesztési kérdéseivel foglalkozott. 1971-től az 1990-ben történt nyugálományba vonulásáig a Vasipari Kutató Intézetben dolgozott. Mint a Képlékenyalakítási Osztály vezetője, majd tudományos munkatárs irányította az Alakítástechnológiai Kutatások központi programból a Vaskutrá háruló, valamint a főleg vaskohászati vállalatok részére végzett kutatásokat.

Az OMBKE tagja 1960 óta volt. 1972-ben történt megalakulása óta volt tagja a Hengerész Szakcsoportnak.

Főállásai mellett tevékeny részese volt a felsőoktatásnak. Másodállásban, illetve meghívott előadóként oktatott a Miskolci Egyetemen és a Dunaújvárosi Főiskolán. Számos diplomamunkának, egyetemi doktori, kandidátusi és nagydoktori disszertációnak volt bírálója, bíráló és vizsgálztató bizottságok tagja.

Ilyen irányú tevékenysége elismeréseként 1979-ben megkapta a címzetes egyetemi docens címet. Az MTA több tudományos bizottságának is volt tagja.

Szakmai és tudományos munkájának eredményeit számos hazai és külföldi folyóiratban megjelent szakkikkekben publikálta, illetve adta elő hazai és külföldi konferenciákon. Nyugdíjba vonulása után esetenkénti felkérések alapján végzett szakmai tevékenységet.

Búcsúztatása az evangélikus egyház szertartása szerint 2015. március 31-én a Felsővízivárosi Szent Anna templomban volt, majd hamvait az templom urnatemetőjében helyezték örök nyugalomra.

Barátai nevében Farkas Lajos, volt évfolyamtársa búcsúzott tőle.

A nekrológok feleslegesen tényszerű elvárásainak eleget téve, engedtsésk meg nekem néhány személyes, pátosmentes megjegyzés.

Olyan ember volt, akit Isten jókedvében teremtett. Egész életében a nyugalom, a béke sugárzott belőle, mely csak az igazán erős emberek sajátossága, és ami a környezetének is energiát adott. Rend volt a fejében, és rend volt a szívében. Szerény lehetett, mert okos volt. Szelíd lehetett, mert erős volt. Azaz, mindig önmaga lehetett. Nem volt szüksége külső vázra, mert sziklaszilárd belső vázzal rendelkezett.

Elegánsan viselte a terheket, nyugodtan, a rá jellemző humorral fogadta el az élet kihívásait, és tette a dolgát, ahol éppen helyt kellett állnia! A szeretet ereje volt a fegyvertára. Soha nem panaszkodott, a gőg, az irigység, az önzés számára ismeretlen fogalmak voltak. Ez a tisztaság, lelkierő tartotta lélekben, mentálisan fiatalon élete végéig. Csak a teste érezte egyre inkább az évek súlyát.

Elegánsan élt, földi pályafutását is elegánsan fejezte be. Elment, de valami itt maradt. Valami, ami hatalmas, ám szinte súlytalan. Az emlék, mely talán egyszer mosolyra fakaszt, akkora hatalmas van.

Dr. Szeghegyi Ágnes



MISKOLCI
EGYETEM
UNIVERSITY OF MISKOLC



MŰSZAKI
ANYAGTUDOMÁNYI
KAR



Válaszd

DUÁLIS

anyagmérnök

alapképzéseinket!

Járműipari
öntészeti
szakirány
(2015-től indul)

Fémtechnológia
szakirány
(2016-től indul)

Hőkezelési és
Képlékenyalakítási
szakirány
(2016-től indul)

TANULJ

FIZETÉSÉRT!

„Friss diploma, 3,5 éves szakmai gyakorlattal”



PREC **CAST**



FÉMALK



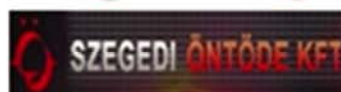
Kerülj már most



BUSCH-HUNGÁRIA



SICTA Kft



a munkaerőpiacon!



További információkért nézd meg honlapjainkat, vagy keress minket e-mailben!

www.metont.uni-miskolc.hu/dualis

onteszdualis@uni-miskolc.hu

www.mak.uni-miskolc.hu

FORR-ÁSZ- „Környezetbiztonságos forrasztanyagok anyagtudományi
alapon történő fejlesztése primer és másodnyersanyagokból a
járműipar számára”

TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0019

<http://www.forr-asz.uni-miskolc.hu>



SZÉCHENYI 2020



MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE